

---

O IMPACTO DO METRO DO PORTO NA VALORIZAÇÃO  
IMOBILIÁRIA: UMA REAVALIAÇÃO

**João Borges Carvalho**

---

Dissertação  
Mestrado em Economia

---

Orientado por  
**Professor José da Silva Costa**

---

2018

## **Agradecimentos**

A presente dissertação é fruto não só de uma vontade e determinação pessoal como também de importantes apoios e incentivos de várias pessoas ao longo deste processo, às quais estarei eternamente grato.

Quero agradecer, em primeiro lugar, ao Professor Doutor José da Silva Costa pela disponibilidade que sempre revelou bem como por todas as palavras de incentivo que me dirigiu desde o primeiro até ao último dia. Obrigado pelo acompanhamento, partilha e cuidado que sempre demonstrou comigo.

Em segundo lugar, quero agradecer ao Professor Doutor Armindo Manuel da Silva Carvalho pela sua disponibilidade na vertente econométrica, que muito contribuiu para o enriquecimento da análise empírica.

Em terceiro lugar, quero agradecer ao Doutor Ricardo Guimarães, gerente da Confidencial Imobiliário, pela cedência da base de dados que serviu de base para a análise da presente dissertação. Obrigado pela partilha da informação, sem a qual a análise empírica não teria sido tão sofisticada.

Quero também deixar uma palavra de agradecimento a todos os meus amigos que, de alguma maneira, me ajudaram ao longo desta jornada (eles sabem quem são!). Obrigado pela colaboração, amizade e encorajamento.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha família. Em especial, agradeço aos meus pais, por todos os valores que me incutiram e por todos os sacrifícios que suportaram para que eu pudesse ter um futuro melhor do que o deles. A eles, estou eternamente grato. Obrigado.

## **Resumo**

A presente dissertação analisa o impacto do Sistema de Metro do Porto na valorização imobiliária. Em virtude do acréscimo da acessibilidade proporcionada pelos sistemas de transporte público nos centros urbanos, compreender o efeito da proximidade das estações de Metro no preço das habitações não é só de interesse académico, como também pode ajudar a melhorar o planeamento da Área Metropolitana do Porto, sendo uma possível mais-valia para os municípios. O nosso estudo usa dados relativos a 1065 habitações transacionadas no Município do Porto e Vila Nova de Gaia, ao longo do ano de 2016. A análise empírica tem em conta um conjunto de variáveis, incluindo variáveis estruturais, de localização e de vizinhança. No total foram estimados três modelos; o modelo de preços hedónicos, o modelo de dependência espacialmente desfasada e o modelo de dependência dos erros. Os resultados apontam para um impacto positivo da proximidade do Metro no preço das habitações em todos os modelos considerados.

Códigos JEL: C21; O18

Palavras-chave: Modelo de preços hedónicos; Modelos espaciais; Metro do Porto; Valorização Imobiliária

## **Abstract**

The present study evaluates the effect of the Porto Subway System on the real estate valuation. Accessibility improvements in urban centres' public transport systems make understanding the proximity effect of Metro stations in housing prices not only of academic interest, since it can also help policy-makers design a better Metropolitan Area. We use data for 1065 houses in the Municipality of Porto and Vila Nova de Gaia for the year 2016. In the analysis, we take into account a set of variables, including structural, location and neighborhood variables. In total, three models were estimated; the hedonic price model, the spatially lag model, and the spatial error model. Results point to a positive impact of the proximity of the Metro in housing prices for all models considered.

JEL Codes: C21; O18

Keywords: Hedonic Price Model; Spatial Models; Subway System; Real Estate Valuation

## Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Índice .....	iv
Índice de figuras .....	vi
Índice de tabelas .....	vii
Introdução .....	1
Capítulo 1. O Modelo de preços hedónicos .....	4
Introdução à metodologia .....	4
Contexto histórico .....	5
Abordagem de Rosen .....	6
Comportamento do consumidor .....	7
Comportamento do produtor .....	9
Equilíbrio de mercado .....	11
A Função de preços hedónicos .....	13
Atributos habitacionais .....	15
Problemas econométricos .....	15
Especificação da forma funcional .....	16
Capítulo 2 – Impacto do Metro na valorização imobiliária: as evidências empíricas .....	20
Variação temporal do impacto .....	23
Impacto em diferentes áreas .....	24
O alcance espacial do impacto do Metro no preço dos imóveis .....	25
Os casos em Portugal .....	26
Capítulo 3 – Estudo Empírico .....	34
Visão geral do Metro do Porto .....	34
Base de dados .....	35
Criação da variável distância à estação de Metro .....	39
Estatística descritiva .....	43
Capítulo 4 – Estimação do modelo e resultados empíricos .....	45
Estimação do modelo .....	45

Resultados.....	45
Diferentes extensões do impacto na área urbana e suburbana do Porto.....	51
Análise espacial .....	53
Definição de vizinhança entre habitações.....	53
Análise espacial preliminar .....	54
Modelos espaciais .....	55
Modelo de dependência espacialmente desfasa .....	55
Modelo de dependência espacial dos erros.....	56
Estimação e resultados .....	57
Conclusão .....	59
Referências Bibliográficas.....	61

## Índice de figuras

Figura 1 – Funções despesa e preços hedónicos .....	8
Figura 2 – Funções oferta e preços hedónicos.....	11
Figura 3 – Equilíbrio de mercado .....	12
Figura 4 – Equilíbrio de mercado com intersecção das funções oferta e procura.....	13
Figura 5 – Representação espacial da área de estudo e localização das habitações .....	36
Figura 6 – Localização dos estabelecimentos e serviços considerados para a criação dos atributos de localização.....	39
Figura 7 – Localização das estações de Metro do Porto e visualização das áreas de influência.....	42
Figura 8 – Estatística I de Moran e mapa de Cluster LISA.....	55

## Índice de tabelas

Tabela 1 – Efeitos da proximidade das estações ferroviárias na valorização imobiliária (casos de estudo) .....	31
Tabela 2 – Continuação da tabela anterior .....	32
Tabela 3 – Efeitos da proximidade das estações ferroviárias na valorização imobiliária (Casos portugueses) .....	33
Tabela 4 – Variáveis de distância para definir a área de influência das estações de Metro...	41
Tabela 5 – Resultados da regressão com inclusão das variáveis de distância D2-D12 .....	41
Tabela 6 – Descrição das variáveis.....	42
Tabela 7 – Estatísticas descritivas .....	43
Tabela 8 – Resultados da regressão do modelo semi-logarítmico.....	46
Tabela 9 – Resultados obtidos no EViews .....	52
Tabela 10 – Resultados da estimação dos modelos espaciais.....	57



## Introdução

Os sistemas de transporte público, nomeadamente o sistema de Metro, desempenham um papel crucial nas sociedades, principalmente na dimensão ambiental, uma vez que é considerado como um meio de transporte eficiente e ecológico, capaz de enfrentar a deterioração das condições de transporte urbano enquanto, ao mesmo tempo, melhora o acesso aos locais de trabalho bem como a infraestruturas de serviços.

Como não existem muitos estudos que se focam no impacto da dimensão económica no funcionamento do Metro na valorização imobiliária, achamos importante destacar essa vertente. Mais concretamente, estamos interessados em estudar o efeito da acessibilidade na área envolvente ao Metro.

O preço dos imóveis é conhecido por ser um dos indicadores mais significativos desse efeito, pois retrata o modo como a qualidade do desenvolvimento urbano é percebido pela sociedade e está fortemente associado a características relacionadas com a localização e finalidade do uso do solo (Andrade e Maia, 2009). O aumento no preço dos imóveis está inerentemente ligado à captação de externalidade positivas, como por exemplo a proximidade a uma nova infraestrutura de transporte, centros de comércio e serviços, espaços verdes e áreas de lazer.

No caso da proximidade a uma nova infraestrutura de transporte, como o caso do Metro, uma melhoria de acessibilidade para a população residente tem um efeito direto no preço dos imóveis (Andrade e Maia, 2009) e, portanto, o seu impacto no preço do imóvel incorpora o benefício da proximidade do Metro sem que haja uma correção nos sistemas de preços (Reis, 2011). Esta melhoria de acessibilidade pode deve-se tanto à diminuição do tempo necessário de deslocação pedestal até ao Metro como à redução do tempo de viagem entre a origem e o destino potenciada pela otimização das rotas em termos de localização e custos.

Assumindo que, enquanto agentes racionais, os indivíduos vão querer viver em locais com boas condições de acesso ao Metro (necessitando, dessa forma, de menos tempo para se deslocar para o local de trabalho), espera-se que manifestem disponibilidade para pagar um valor adicional de forma a habitar em zonas com essas condições. No entanto, a proximidade ao Metro pode gerar situações controversas para os residentes próximos, como é o caso do aumento de tráfego na zona envolvente e os níveis de ruído

mais elevados. Estas duas externalidades negativas podem alterar o acréscimo de valor dos imóveis e até diminuir o preço do imóvel e o benefício incorporado pelos proprietários.

Um estudo realizado por Reis (2011) analisou a influência do Metro do Porto na valorização imobiliária das habitações dos municípios do Porto e Matosinhos. A abordagem empírica entre a relação preço das habitações e a acessibilidade ao Metro foi realizada com recurso a uma amostra de 561 transações ocorridas nos municípios do Porto e Matosinhos. Ao contrário do que era esperado pela autora, as conclusões do estudo apontam para um prémio negativo para a proximidade de uma habitação à estação de Metro. Também, recentemente realizou-se um estudo (Pascoal, 2016) sobre esta temática e não se provou qualquer impacto do sistema metropolitano na valorização imobiliária.

Com o objetivo de contribuir para a literatura neste tema, o presente trabalho visa avaliar o impacto do Metro do Porto na valorização imobiliária das habitações próximas da linha amarela do Metro do Porto. Desta forma, as habitações em causa englobam os Municípios do Porto e de Vila Nova de Gaia. Para além do contributo literário, o presente estudo do impacto do Metro do Porto na valorização imobiliária é também importante para no domínio do planeamento da Área Metropolitana do Porto (nomeadamente para os Municípios), na medida em que pode ajudar a identificar os efeitos de uma infraestrutura num determinado local. Nessa medida, acreditamos que o nosso estudo pode ser útil para a tomada de decisão dos responsáveis pelo planeamento da Área Metropolitana do Porto.

Para perceber o impacto do Metro do Porto no preço dos imóveis, adotámos o modelo de preços hedónicos e de autocorrelação espacial, determinando-se o peso da proximidade de uma estação de Metro no valor de uma habitação. Neste âmbito, o desenvolvimento do estudo é feito com recurso a modelos econométricos, nomeadamente o Método dos Mínimos Quadrados (vulgarmente conhecido e difundido como *Ordinary Least Squares - OLS*), o modelo de dependência espacialmente desfasada (ou *Spatial Lag Model - SLM*) e o modelo de dependência espacial dos erros (ou *Spatial Error Model - SEM*).

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. Após a introdução, o capítulo 1 apresenta uma evolução da metodologia dos preços hedónicos, explicando as bases do modelo e o contributo dos vários autores, nomeadamente Rosen – o criador da teoria hedónica; apresenta-se também a equação de preços hedónicos: os atributos habitacionais que por norma determinam o preço de uma habitação e que atuam como fatores influenciadores da decisão de escolha dos consumidores no momento de compra de uma habitação. Na parte final deste capítulo, de forma reduzida, identificam-se alguns

problemas econométricos associados a este tipo de análise, bem como a questão da escolha da forma funcional.

Focado um pouco mais na variável que pretendemos interpretar, o capítulo 2 contém a revisão de literatura. Apresentamos alguns conceitos introdutórios, como a escolha da localização da habitação impulsionada através das teorias de localização e o conceito de acessibilidade. Depois, exploramos os estudos empíricos realizados por outros autores, apresentando-os tendo em conta os seus resultados, o contexto espacial e temporal e a definição da variável independente relativa à proximidade da habitação da estação de Metro. Como não poderia faltar, dedica-se uma pequena parte deste capítulo a estudos empíricos realizados em Portugal.

O capítulo 3 contém o estudo empírico. Primeiro, elabora-se um enquadramento do Metro do Porto e apresenta-se a base de dados criada. Seguidamente, é feita uma análise detalhada com base na informação da amostra. Por último, introduz-se os modelos de econometria espacial.

No capítulo 4, procede-se à estimação dos modelos econométrico considerados e à interpretação dos resultados obtidos. Por fim, apresentamos as principais conclusões do estudo.

## **Capítulo 1. O Modelo de preços hedónicos**

### **Introdução à metodologia**

O modelo de preços hedónicos é uma metodologia que pode ser aplicada para muitos propósitos diferentes com a particularidade de que se refere a um mercado especial. Refiro-me a mercados onde se transacionam bens que são constituídos por atributos não transacionáveis individualmente ao contrário do que acontece com bens compósitos. Por outras palavras, pode-se dizer que este tipo de mercado caracteriza-se pela transação de bens heterogéneos. Os bens heterogéneos são bens complexos cujo preço final resulta da soma do preço dos seus atributos. No sentido metafórico é equivalente a dizer-se que o preço final dos bens heterogéneos resulta da soma do valor emocional de cada atributo aos olhos do consumidor e, por isso, o preço final deverá oscilar em função desse valor agregado. Estes atributos influenciam diretamente o preço bem como a decisão do consumidor no mercado. Porém, um conjunto de produtos diferenciados (bens heterogéneos) é descrito como um vetor de características objetivamente mensuráveis (Rosen, 1974). Isto indica que os atributos apesar de não serem transacionados individualmente, possuem um valor de mercado. Por essa razão utiliza-se o modelo de preços hedónicos em que o objetivo é atribuir um preço aos atributos dos bens que não estão presentes no mercado de forma direta, mas que influenciam diretamente o preço que o bem heterogéneo está colocado no mercado.

O modelo de preços hedónicos é vulgarmente utilizado quando se pretende avaliar o preço de uma habitação. A habitação é um bem de natureza heterogénea devido às características que a compõe, o que leva a concluir que a escolha de um consumidor entre uma ou outra habitação não é feita de forma aleatória. A sua preferência por uma habitação irá variar consoante o conjunto de atributos que a compõe. Estes atributos podem ser físicos e não físicos. Para Papon et al. (2013) o preço de um bem heterogéneo “habitação” varia consoante as suas características intrínsecas (são aquelas que pertencem à própria habitação como a área bruta, número de quartos, entre outros) e características extrínsecas (dizem respeito ao ambiente onde a habitação está localizada como as proximidades a instalações públicas, entre outras). Ou seja, além das suas características físicas como tamanho, número de quartos, entre outros, é importante realçar a importância no preço final das características da habitação como a sua localização, a qualidade da vizinhança e a acessibilidade aos pontos de interesse da cidade. A prova disso é o facto de que a mesma

habitação, com características físicas idênticas, poder ter preços muito diferentes em resultado apenas da sua localização e do ambiente em que está inserida. No caso particular deste estudo, a distância de uma estação de Metro mais próxima é o principal atributo de interesse a investigar. As externalidades, quer positivas e negativas, como a proximidade a uma estação de Metro e os níveis de ruído e congestionamento do tráfego, respetivamente, podem ser estimados através do modelo de preços hedónicos, determinando o seu valor económico.

Econometricamente, os preços hedónicos são estimados através de uma regressão em que o preço do bem, é função das suas características. A partir de um conjunto de preços de atributos, é possível estimar os preços finais das habitações, e ainda, é útil para prever e analisar cenários no mercado imobiliário.

### **Contexto histórico**

O uso da técnica do modelo de preços hedónicos é muito documentado na literatura sendo popularizado por Zvi Griliches no início da década de 1960 (Dorantes et al., 2011). Goodman (1998) defende que o pioneiro da análise de preços hedónicos foi Court ao publicar o seu artigo “*Hedonic price index with automotive examples*”. No entanto, o seu trabalho apenas foi mencionado duas décadas depois através de Zvi Griliches (1958) e apenas foi referenciado na literatura de forma superficial. No geral, a literatura indica que Lancaster (1966) e Rosen (1974) são os responsáveis pelos trabalhos mais importantes na consolidação da teoria dos preços hedónicos.

A abordagem Lancasteriana foca essencialmente o lado da procura (Teoria do Consumidor) descrevendo que a utilidade de um bem traduz-se pelas características que esse bem possui. Para Lancaster (1966), o bem, por si só, não oferece utilidade ao consumidor, possui atributos e esses atributos dão origem à utilidade; em geral, um bem terá mais do que um atributo, e muitos atributos serão comuns noutros bens e, por último, a combinação de bens pode possuir atributos diferentes daquelas que os bens têm separadamente, ou seja, o seu todo pode ser diferente da soma das partes. Embora Lancaster tenha sido o primeiro autor a discutir a utilidade hedónica, ele não diz nada sobre os modelos de preços, por isso, Rosen (1974) diferencia-se da abordagem Lancasteriana porque analisa não só o comportamento do consumidor como também o equilíbrio de mercado.

Para Rosen (1974), os preços observados de um bem assim como a quantidade de atributos que o compõe definem um conjunto de preços implícitos ou preços hedônicos. O modelo hedônico formulado por este autor interpreta os bens heterogêneos, compostos por características homogêneas, cada qual com o seu preço e estrutura de mercado como iremos ver em seguida. Após a formalização deste modelo, o modelo continua até aos dias atuais com enorme utilização por parte de investigadores e especialistas da área apesar das suas limitações.

### **Abordagem de Rosen**

Rosen (1974) introduziu o conceito de equilíbrio competitivo entre a oferta e procura de bens multidimensionais, onde produtores e vendedores se posicionam. O autor sugeriu que tanto a oferta como a procura devem ser levados em consideração quando se realiza uma análise de preços hedônicos. O objetivo principal do seu estudo foi mostrar um mecanismo dinâmico para observações no caso competitivo e usar essa estrutura para clarificar o significado e a interpretação dos preços implícitos estimados (Rosen, 1974).

No estudo de Rosen, o autor começa por definir um plano em que qualquer ponto localizado no espaço de atributos pode ser representado por um vetor de coordenadas  $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ , em que  $z_i$  mede a quantidade do  $i$ ésimo atributo contido no bem e  $n$  é o número total de características objetivamente medidas. Os produtos podem ser descritos em função da composição do vetor  $z$  e existe uma grande diversidade de combinações de atributos possíveis. Cada transação é vista como um conjunto relacionado de trocas vinculativas, ou seja, o comprador pode escolher um conjunto de atributos disponíveis no mercado e comprá-los como um conjunto de características. Então, o preço global da transação é definido para cada ponto do espaço de atributos e segue as escolhas de localização do consumidor e produtor.

$$p(z) = p(z_1, z_2, \dots, z_n) \quad (1)$$

A equação acima indica que o preço  $p$  de um dado bem depende das quantidades dos seus atributos  $z_i$ . Assume-se que as hipóteses genéricas de um mercado competitivo são tidas como válidas. Isto é, nenhum dos agentes individuais tem capacidade para influenciar o comportamento de mercado. O preço definido em cada ponto do espaço é

mínimo (apesar de ser máximo para cada agente individual) para cada conjunto de características. Em equilíbrio de mercado, o que os consumidores estão dispostos a pagar é igual ao que os vendedores estão dispostos a receber, dado um conjunto de atributos localizados no espaço. Ambos os compradores e vendedores maximizam o seu comportamento de forma a que os seus preços sejam determinados pela distribuição de preferências dos consumidores e dos custos dos produtores. Em cada ponto do espaço de atributos que os consumidores decidem localizar, a quantidade procurada iguala a quantidade oferecida pelos produtores.

O equilíbrio é alcançado no ponto onde a oferta e a procura combinam perfeitamente. Além disso, o autor assume que há um número suficientemente grande de combinações de produtos diferenciados disponíveis que os consumidores podem escolher. Esta escolha entre as combinações de características é contínua e todas as percepções dos consumidores em relação às alternativas são semelhantes, portanto, são as preferências no consumo que podem diferir. A identidade do consumidor neste caso não tem relevância pois apenas existe um preço associado a cada combinação de características. Se dois vendedores oferecem a mesma combinação a preços diferentes apenas os mais baratos são considerados pelos consumidores. Da mesma forma, se dois vendedores oferecem diferentes combinações a preços diferentes, necessariamente a combinação mais cara agrega uma quantidade de características  $z$  superior à outra que aos olhos do consumidor será valorizada como iremos ver em a partir do subcapítulo seguinte (comportamento do consumidor).

### **Comportamento do consumidor**

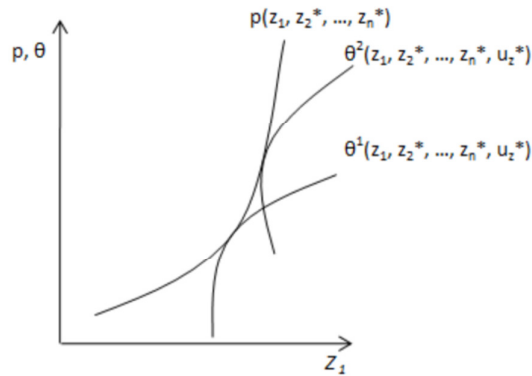
Vamos assumir que os consumidores consomem apenas uma unidade de uma combinação com um valor particular de  $z$ . Então, a sua função utilidade conhecida pode ser definida como  $U = (x, z_1, z_2, \dots, z_n)$ , estritamente concava, em que  $x$  representa os demais bens consumidos (ou seja,  $x$  é um bem compósito). Consideremos o preço de  $x$  igual a 1, a restrição orçamental  $y$  em termos de unidade de  $x$  e o  $p(z)$ , temos que  $y = x + p(z)$ . A maximização da função utilidade sujeita à restrição orçamental não linear exige que se escolha uma combinação de  $x$  e de  $(z_1, z_2, \dots, z_n)$  que obedeça à restrição  $y$  e satisfaça as condições de primeira ordem:

$$\frac{\partial p}{\partial z_i} = p_i = \frac{\frac{\partial U}{\partial z_i}}{\frac{\partial U}{\partial x}}, \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

Note-se que  $p_i$ , a primeira derivada de  $p$  em relação a  $z_i$  é o preço hedônico do atributo  $i$ . Vamos definir a função despesa do consumidor  $\theta(z_1, \dots, z_n; u, y)$  de acordo com:

$$U(y - \theta, z_1, \dots, z_n) = u \quad (3)$$

O valor que o consumidor está disposto a pagar por diferentes valores de  $(z_1, z_2, \dots, z_n)$  para um dado nível de utilidade  $u$  e de rendimento  $y$  é representado por  $\theta(z; u; y)$ . Isso define um conjunto de curvas de indiferença que relaciona  $z_i$  com  $p$ . Na figura 1 é ilustrado a dimensão do equilíbrio do consumidor. O valor que um consumidor está disposto a pagar por  $z$  dado um nível de utilidade e de rendimento é  $\theta(z; u; y)$ , enquanto  $p(z)$  é o preço mínimo que ele deve pagar no mercado por  $z$ . A utilidade é maximizada quando  $\theta(z^*; u^*; y) = p(z^*)$  e  $\theta_{z_i}(z^*; u^*; y) = p_i(z^*)$ , onde  $z^*$  e  $u^*$  são quantidades ótimas. Na figura 1, isso acontece quando a família de funções despesa  $\theta(z^*; u^*; y)$  é tangente ao preço de mercado  $p(z^*)$ . Dois consumidores diferentes são representados por  $\theta^1$  e  $\theta^2$ . O segundo prefere uma combinação oferecendo mais  $z_1$  do que o primeiro.



**Figura 1:** Funções despesa e preços hedônicos



**Fonte:** Rosen (1974)

### **Comportamento do produtor**

De forma análoga à dos consumidores, os produtores irão definir as suas escolhas de localização. Todavia, em vez de maximizar a utilidades, as empresas procuram maximizar o lucro. Seja  $M(z)$  o número de unidades produzidas por uma empresa de produtos que oferece combinações de  $z$ . Conforme Rosen (1974, p.41) menciona:

“The discussion is limited to the case of nonjoint production, in which each production establishment within the firm specializes in one design, and there are no cost spillovers from plant to plant. Thus a "firm" is an arbitrary collection of atomistic production establishments, each one acting independently of the others.”

O custo total de produção de  $z$  numa empresa é designado por  $C(M; z; \beta)$ , onde  $\beta$  representa as variáveis adjacentes relacionadas com o problema de minimização de custos. Assume-se  $C$  como convexo com  $C(0, z) = 0$  e  $C_M$  e  $C_{z_i} > 0$ , que significa que o custo marginal de produzir mais uma unidade de  $z$  é positivo e crescente. Além disso, cada característica  $z_i$  do bem também tem custos marginais de produção positivos e crescentes. O objetivo de cada empresa ao produzir o bem  $z$  é maximizar o lucro, escolhendo combinações ótimas de  $M$  e  $z$ . O lucro pode ser apresentado como:

$$\pi = Mp(z) - C(M, z_1, \dots, z_n) \quad (4)$$

É importante realçar que  $p(z)$  e  $M$  são completamente independentes, uma vez que as empresas estão inseridas num mercado competitivo (e assumem um comportamento). As condições para as escolhas ótimas de  $M$  e  $z$  são dadas pelas seguintes expressões:

$$p_i(z) = \frac{C_{zi}(M, z)}{M}, \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$p(z) = C_m(M, z) \quad (6)$$

Isso significa que no ponto onde os lucros são maximizados observam-se duas condições: o rendimento marginal de uma unidade adicional deve igualar o custo marginal de produção por unidade vendida; o rendimento unitário ocorre até ao ponto em que a produção de mais uma unidade do bem  $z$  iguale o seu custo marginal de produção. Analogamente à função  $\theta$  definida para o lado do consumidor, é possível definir  $\emptyset(z_1, \dots, z_n; \pi; \beta)$  como a função oferta que indica o preço unitário (mínimo por cada combinação de atributos  $z_i$ ) que cada empresa está disposta a aceitar por cada artigo em diversos tipos de modelos com lucro constante quando as quantidades produzidas de cada modelo são escolhidas otimizadas. Assim, temos uma família de superfícies de indiferença de produção definida por  $\emptyset$  que é determinado eliminando-se  $M$  da seguinte forma:

$$\pi = M\emptyset - C(M, z_1, \dots, z_n) \quad (7)$$

$$C_M(M, z_1, \dots, z_n) \quad (8)$$

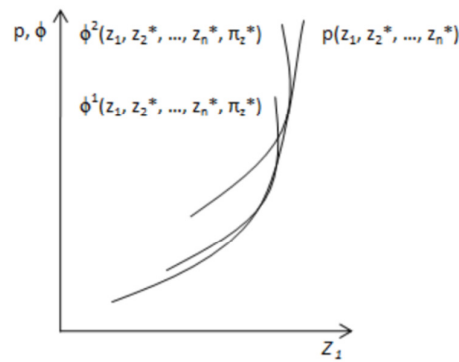
A função  $\emptyset$  representa o preço de oferta que o vendedor está disposto a aceitar pelo modelo  $z$  dado um nível de lucro  $\pi$  enquanto  $p(z)$  é o preço máximo que esse modelo pode capitalizar no mercado. Então, o lucro é maximizado quando o preço de oferta para o modelo  $z$  sujeito à restrição  $p = \emptyset$  é maximizado. Neste cenário, são verificadas as duas seguintes condições:

$$p_i(z^*) = \phi_{zi}(z^*; \pi^*; \beta) \quad (9)$$

$$p(z^*) = \phi(z^*; \pi^*; \beta) \quad (10)$$

Estas duas condições produzem um equilíbrio caracterizado pela tangência entre a superfícies de indiferença de funções oferta (ou de características que resultam no lucro) e a superfícies de preço implícito das características de mercado que é nada mais a função de preços hedónicos  $p(z)$ . A dimensão do equilíbrio, do lado do produtor, é representada na

figura 2. Dois produtores são representados por  $\phi^1$  e  $\phi^2$ . O primeiro tem condições de produção e custo que tornam mais adequada a produção quantidade de  $z_1$  enquanto que o segundo é valido para o segundo produtor conferindo-lhe uma vantagem competitiva.



**Figura 2:** Funções oferta e preços hedônicos

**Fonte:** Rosen (1974)

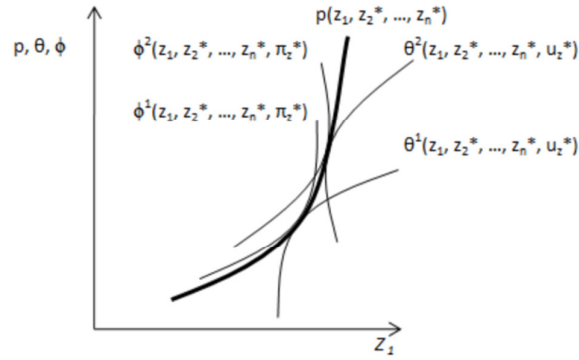
### Equilíbrio de mercado

Agrupando no mesmo plano a família de funções oferta dos consumidores  $\theta(z_1, \dots, z_n; u, y)$  e a família de funções oferta dos produtores  $\phi(z_1, \dots, z_n; \pi; \beta)$ , o equilíbrio é encontrado onde as respectivas funções são tangentes uma à outra, isto é, onde a disponibilidade do consumidor pagar e a vontade do consumidor em vender é igual. Como mostra a figura, a função  $p(z)$  é a função de preços hedônicos que reflete a situação de equilíbrio e constitui o envelope conjunto de uma família de funções despesa e de uma família de funções oferta.

Para o comprador e vendedor 1, sendo  $\theta_{z_1}^1$  a primeira derivada de  $\theta^1$  e  $\phi_{z_1}^1$  a primeira derivada de  $\phi^1$ , sempre em ordem a  $z_1$ , no ponto  $z_1^*$  ocorre a seguinte igualdade:

$$\theta_{z_1}^1 = \phi_{z_1}^1 = \frac{\partial p}{\partial z_1} = p_1 \quad (11)$$

Na expressão acima, a primeira derivada de  $p$  em ordem a  $z_1$  é o preço hedónico do atributo a  $z_1$ . Isso revela que de facto os preços hedónicos, tal como propôs Rosen, resultam do preço de equilíbrio entre as funções procura ( $\theta^1$ ) e oferta ( $\phi^1$ ). Assim, o preço de equilíbrio é determinado de modo a que compradores e vendedores combinem perfeitamente. A representação deste equilíbrio é representada pela tangência entre  $\theta^1$  e  $\phi^1$  na figura.



**Figura 3:** Equilíbrio de mercado

**Fonte:** Rosen (1974)

O mesmo equilíbrio pode ser visto numa nova perspectiva conforme mostra a figura. As primeiras derivadas mencionadas acima ( $\theta_{z_1}^1$ ;  $\phi_{z_1}^1$ ;  $p_1$ ) estão agora traçadas na dimensão  $z_1$ , mostrando novamente que o equilíbrio é descrito pela interseção das funções oferta e procura. Nesta representação estão presentes três compradores ( $\theta_{z_1}^1$ ;  $\theta_{z_1}^2$  e  $\theta_{z_1}^3$ ) e três vendedores ( $\phi_{z_1}^1$ ;  $\phi_{z_1}^2$  e  $\phi_{z_1}^3$ ). A linha tracejada  $p_1(z)$  é o custo marginal comum enfrentado por todos os compradores.

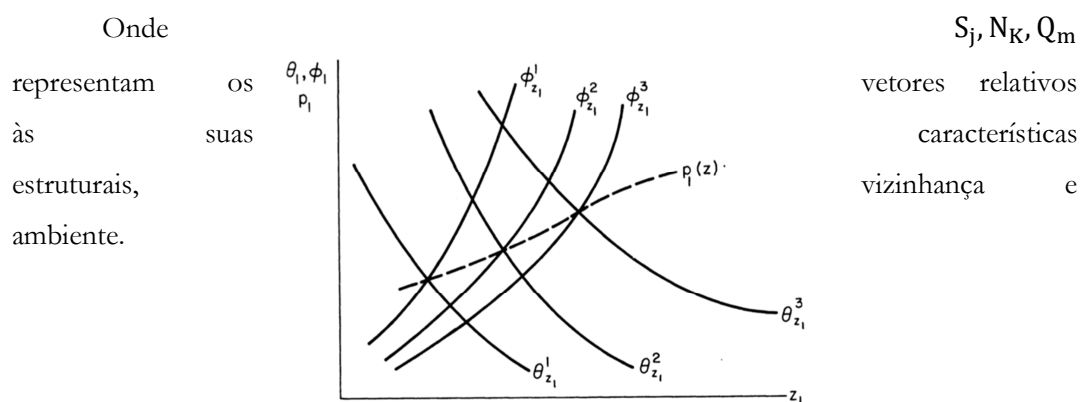
**Figura 4:** Equilíbrio de mercado com intersecção das funções oferta e procura

**Fonte:** Rosen (1974)

### A Função de preços hedónicos

O modelo de preços hedónicos foi desenvolvido para lidar com bens heterogéneos (Rosen, 1974). Freeman (1979) argumentou que o preço da habitação pode ser considerado em função das suas características tais como estrutura, vizinhança e ambiente. Portanto, a função preço da habitação  $h_i$  pode ser demonstrada da seguinte forma:

$$P_{hi} = P_h(S_{i1}, \dots, S_{ij}, \dots, N_{i1}, \dots, N_{ik}, \dots, Q_{i1}, \dots, Q_{im}) \quad (12)$$



Consideremos  $X$  o conjunto completo de características habitacionais ( $S_j, N_K, Q_m$ ) incluídas no modelo empírico. A representação empírica do  $i$ ésimo preço de habitação pode ser representado da seguinte maneira:

$$p_i = p(X_i, \beta, \varepsilon) \quad (13)$$

Onde  $\beta$  é um vetor dos parâmetros a ser estimado,  $\varepsilon$  é o termo de erro estocástico e  $p_i$  é o preço implícito relativo a essa característica.

Embora Rosen (1974) não tenha apresentado formalmente uma forma funcional para a função de preços hedônicos, o modelo tem três principais formas (Sun et al., 2016):

$$P_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^k \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (14)$$

$$\ln P_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^k \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (15)$$

$$\ln P_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^k \beta_k \ln X_{ki} + \varepsilon_i \quad (16)$$

Em que,  $P$  é a variável explicada (o preço da habitação),  $\beta_0$  é o termo independente,  $X_k$  são as variáveis explicativas (os atributos da habitação, de localização e de vizinhança),  $\beta_k$  ( $i = 1, \dots, k$ ) é o coeficiente de regressão desconhecido. O termo de perturbação é  $\varepsilon$ ,  $i$  é o índice de observação e  $k$  é a dimensão da amostra.

A equação (14) é o modelo linear em que tanto a variável dependente como as variáveis independentes possuem especificação linear. Cada coeficiente estimado representa a variação, em média, no preço da habitação causada pela variação absoluta nos atributos habitacionais.

A equação (15) é o modelo semi-logarítmico. Este modelo transforma logaritmicamente a variável dependente mantendo a linearidade das variáveis independentes. Cada coeficiente estimado representa a taxa de variação relativa, ou seja, a variação percentual do preço da habitação em consequência da variação em uma unidade nos atributos habitacionais. Por outras palavras, o coeficiente de regressão representa a elasticidade do preço dos respetivos atributos habitacionais.

A equação (16) é o modelo duplo logarítmico (ou Log-Log) sendo este um modelo em que tanto a variável dependente como as variáveis independentes são transformações

logarítmicas. Cada coeficiente estimado mede a elasticidade do preço da habitação em relação aos atributos habitacionais, ou seja, representa a variação do preço em resultado de uma variação percentual nos atributos habitacionais.

### **Atributos habitacionais**

O pressuposto básico do modelo de preços hedónicos é que o preço da habitação pode ser considerado como a disponibilidade para pagar por um conjunto de características ou atributos, designado na literatura como o pacote de atributos habitacionais. Embora Freeman (1979) não tenha equacionado na sua equação o vetor de variáveis relacionadas com a localização, a maioria dos relacionados com o tema da presente dissertação integram no modelo variáveis de localização nomeadamente variáveis de acessibilidade. Geralmente, os estudos empíricos agrupam esses atributos em quatro subgrupos:

Atributos estruturais (ou internos): descrevem as características físicas da habitação como por exemplo o número de quartos, se a habitação tem ou não garagem, entre outros.

Atributos de localização: inclui a acessibilidade ao centro da cidade (nomeadamente ao emprego, estabelecimentos públicos, ruas principais, estações ferroviárias, entre outros) medida pela distância (em quilómetros) ou tempo (minutos) por exemplo.

Atributos de vizinhança: descrevem a qualidade das características económicas e sociais do bairro (o estatuto de rendimento e a composição racial são exemplos destes atributos)

Atributos ambientais: descrevem a qualidade ambiental e as amenidades locais como a poluição aérea, poluição da água, ruído, vistas panorâmicas e a proximidade a sítios recreativos ou serviços públicos.

### **Problemas económicos**

O modelo de preços hedónicos é um modelo de regressão pelo qual depende de uma regressão tecnológica, pois analiticamente seria perplexo chegar a um resultado confiável. Mesmo assim, o recurso a esta técnica é criticado por diversos autores sobretudo pela eventual ocorrência de uma serie de problemas econométricos que podem dar origem ao enviesamento da estimação, como a especificação da função, a autocorrelação espacial, multicolinearidade e a heterocedasticidade. A teoria económica denomina as últimas três como sendo casos de violação das hipóteses clássicas.

Além destes problemas clássicos, diversos autores atribuem outras limitações ao modelo conforme será mencionado na parte final deste subcapítulo.

### **Especificação da forma funcional**

A inexistência de orientações na teoria económica para a escolha da forma funcional é um grande problema para o modelo de preços hedónicos sobretudo pela influencia que esta pode ter nos resultados da estimação. Para Chin e Chau (2003) a escolha inadequada da forma funcional pode dar origem a estimações inconsistentes. Com base na literatura hedónica, a forma Semi-logarítmica é a mais usada pelos investigadores, a interpretação dos coeficientes estimados é de fácil leitura e tem sido vista como a melhor forma em diversas situações (Dubé et al., 2011). Apesar disso, é normal que os investigadores estimem várias formas funcionais com o objetivo de encontrar aquela que tem melhor comportamento dado o conjunto de dados em análise (Halvorsen e Pollakowski, 1981).

Para escolher a melhor forma funcional diversos autores recorrem à chamada transformação Box-Cox. A transformação Box-Cox é bastante popular nos estudos de preços hedónicos porque a transformação específica dos dados das funções (neste caso consideramos a transformação da variável dependente) pode substituir, à priori, a especificação da forma funcional quando a teoria não sugere um critério de escolha específico para a forma funcional (Andersson et al., 2010). Esta forma é aplicada na literatura do modelo de preços hedónicos em diversos estudos (Papon et al., 2013; Andersson et al. 2010; Forrest et al. 1996). No entanto, Chin e Chau (2003) apontou inconsistências à transformação Box-Cox: um elevado número de coeficientes estimados com Box-Cox reduz a precisão de cada coeficiente em particular, o que pode levar ao



enfraquecimento da estimativa do preço da habitação e a tradicional forma funcional Box-Cox não é adequada para qualquer conjunto de dados que contenha números negativos.

Cropper et al. (1988) comparou seis formas funcionais da função hedónica (linear, semi-logarítmica, dupla logarítmica, linear Box-Cox, quadrática e a Box-Cox quadrática) analisando qual o melhor desempenho do ajustamento. Estes autores concluíram que a forma linear e a Box-Cox quadrática tiveram a mais baixa percentagem média de erros quando todas as variáveis são observadas enquanto que quando algumas destas não são observadas ou são substituídas por proxies, as funções Linear e Box-Cox linear obtiveram o melhor desempenho.

### **Autocorrelação espacial**

A dependência espacial, também conhecida como a autocorrelação espacial pode ocorrer quando se estimam funções hedónicas de preços, violando as hipóteses clássicas dos modelos econométricos. Estamos na presença de autocorrelação espacial quando  $Cov(\mu_i, \mu_j) \neq 0$ , o que indica que os erros estão correlacionados (os erros não são independentes).

Espera-se que na estimação de funções hedónicas de preços, as observações sejam independentes umas das outras, no entanto, o pressuposto da independência é uma falácia de acordo com a primeira lei da geografia de Tobler pois tudo está relacionado com tudo o resto, mas coisas próximas estão mais relacionadas do que coisas distantes.

Para detetar a existência de autocorrelação espacial pode-se recorrer a dois testes: teste Durbin-Watson e teste LM (multiplicador de Lagrange). O teste de Durbin-Watson deteta autocorrelação de 1ª ordem em modelos auto-regressivos de 1ª ordem, ou seja, apenas consegue detetar a existência de autocorrelação entre duas observações (entre duas habitações observados por exemplo). O teste LM deteta autocorrelação de qualquer ordem, ou seja, entre várias observações (entre três ou mais habitações observadas).

O procedimento de Newey West permite ultrapassar o problema da autocorrelação espacial, no entanto, é importante realçar que este método não corrige a autocorrelação mas valida, assintoticamente, a inferência estatística na presença de autocorrelação.

Existem pelo menos duas fontes de autocorrelação espacial (Reis, 2011): existe dependência espacial porque habitações próximas tem naturalmente características semelhantes nomeadamente características estruturais, são construídas com pouco

desfasamento temporal e partilham as mesmas amenidades locais (serviços, escolas, espaços verdes, entre outros); o preço de transação acordado entre compradores e vendedores afetará o preço das transações situadas nas áreas envolventes (especialmente quando os avaliadores usam o método da comparação que é muito frequente no mercado imobiliário) o que faz com que a autocorrelação espacial ocorra no processo de análise.

### **Multicolinearidade**

Um outro problema que os investigadores frequentemente encontram quando estão a estimar funções de preços hedónicos é a multicolinearidade. Este fenómeno ocorre quando as variáveis explicativas (ou independentes) estão fortemente relacionadas.

Podemos detetá-la através da matriz de correlações entre as variáveis explicativas e, regra geral, correlações acima de 0.8 ou abaixo de -0.8 indiciam problemas de multicolinearidade. Também é possível detetar de uma outra forma, isto é, quando o modelo é globalmente significativo, o coeficiente de determinação é elevado, mas individualmente as variáveis não são significativas.

Naturalmente que este problema acarreta consequências: a precisão das estimativas é reduzida, ou seja, a variância dos estimadores é elevada; os sinais dos coeficientes aparecem por vezes contrários ao esperado e não é possível interpretar o efeito marginal de cada variável uma vez que estando elas correlacionadas não é possível garantir o efeito, *ceteris paribus*. Apesar disso, os estimadores OLS continuam a ser cêntricos, lineares, consistentes e eficientes (são BLUE<sup>1</sup>).

De forma a ultrapassar os problemas de multicolinearidade podemos recolher mais dados, ou seja, aumentar a amostra, eliminar a variável ou variáveis fortemente correlacionadas (no entanto, isso pode ser perigoso pois pode ser relevante para a explicação da variável dependente e nesse caso teremos omissão da variável explicativa relevante) e podemos também transformar as variáveis fortemente correlacionadas num rácio.

### **Heteroscedasticidade**

---

<sup>1</sup> *Best Linear Unbiased Estimators*

A heteroscedasticidade ocorre quando a variância dos erros não é constante. Pelo que se a variância dos erros for constante,  $var(\mu_i) = \sigma^2$ , estamos na presença de homoscedasticidade.

Confirma-se a presença de heteroscedasticidade recorrendo ao teste de white ou ao teste de Breusch Pagan por exemplo. Se algum dos testes confirmar a existência deste problema os estimadores OLS continuam a ser cêntricos, lineares e constantes, contudo, não são eficientes. Além disso, os testes de hipótese não são válidos, ou seja, a inferência estatística não é válida.

Em termos de correção, é importante salientar que a proposta de White não corrige o modelo de heteroscedasticidade mas valida, assintoticamente (nomeadamente para amostras de grande dimensão) a inferência estatística e, portanto, os teste de hipótese são válidos.

### **Outros problemas**

Um outro problema controverso é a segmentação de mercado. Embora se possa pensar que o mercado imobiliário urbano é uno, é provável que este seja composto por submercados interrelacionados (Goodman e Thibodeau, 1998).

Para Goodman e Thibodeau (1998) a existência de submercados questiona a validade do pressuposto tradicional de que os mercados de habitação podem ser avaliados como base numa equação de preço hedónico de um mercado de habitação único. A teoria assume que o preço implícito estimado pelo modelo de preços hedónicos permanece constante ao longo do espaço. Isso ignora diferentes ofertas e procura no espaço geográfico conduzindo a desequilíbrios espaciais no mercado de habitação numa determinada área urbana. Portanto, os parâmetros estimados pela função de preços hedónicos para o mercado como um todo, por vezes, podem não refletir a situação real do mercado.

## **Capítulo 2 – Impacto do Metro na valorização imobiliária: as evidências empíricas**

Em geral, as propriedades residenciais com elevado valor de mercado estão associadas a elevados níveis de atributos estruturais, de localização (pela acessibilidade está associada) e vizinhança, atingindo o seu pico em termos de preço no CBD.

Os serviços de transporte oferecem um conjunto de serviços alternativos aos passageiros de modo a que estes possam deslocar-se para os seus empregos diariamente e ampliam as oportunidades sociais para aqueles que dependem de transporte público. Por conseguinte, a acessibilidade e a redução do custo de deslocação fazem com que o preço das habitações junto das imediações das estações de Metro seja superior face aos restantes. Além disso, fruto desta oferta de mobilidade coletiva, consegue-se reduzir o congestionamento do tráfego e salvaguardar o meio ambiente.

O valor monetário implicitamente relacionado com a acessibilidade será refletido no valor de uma habitação, além do valor de outros recursos ou variantes. Para a cidade como um todo, uma vasta rede de transportes, como um sistema de Metro, é provável que determine a forma e o modo como a cidade opera bem como o preço das habitações aí localizadas.

Nos últimos anos, o elevado ritmo de construção e extensão das linhas de Metro em várias cidades do mundo, levou imensos investigadores a debruçar-se sobre a relação entre as estações de Metro e o preço das habitações.

Tendo como base o uso de métodos econométricos inerentes ao modelo de preços hedónicos, os investigadores concentram-se principalmente em determinar se as estações de Metro adicionam valor às propriedades adjacentes. Não obstante, conforme veremos em seguida, os estudos empíricos revisitados recorrem também a outras metodologias (admitindo que são poucos estudos) e chegam a diversos resultados.

A maioria dos investigadores *à priori* espera que o preço das habitações que estão próximas de estações de Metro seja superior em relação a outras que não beneficiam desta amenidade, tal como postula a teoria de localização. A maioria dos estudos confirma esta convicção dos autores (observando um efeito positivo), no entanto, alguns estudos mostram que os efeitos são negativos e insignificantes, o que nos leva a concluir que estimar o efeito dos sistemas de Metro no preço das propriedades residenciais leva-nos a resultados mistos. Além disso, alguns estudos avaliam o impacto do Metro na valorização imobiliária ao longo do tempo, espaço e com diferentes medidas de influência como iremos ver em seguida.

Al-Mosaind (1993) estudou um corredor da linha de Metro MAX em Portland com diversas estações de Metro e encontrou que as estações de Metro têm um impacto positivo no preço das habitações que estão localizadas até 500 metros. Nesse sentido, as conclusões mostram que o preço das propriedades até 500 metros é 4324 \$ mais elevado, em média, em relação às propriedades localizadas dentro da área de estudo (até 1000 metros) mas com uma distância superior a 500 metros. O autor concluiu também que a contribuição total da proximidade das estações nos preços das propriedades é aproximadamente 10,6%, em média.

Hess e Almeida (2007) recorreram ao modelo de preços hedónicos com base num modelo constituído por 7000 observações recolhidas a partir de uma zona de impacto definida de 400 metros de raio em torno das 14 estações de Metro de Buffalo, Nova

Iorque. Conclui-se que, ao longo do metropolitano, as habitações localizadas na área de estudo são valorizadas em \$2,31 (usando a distância linear) e \$0,99 (usando a distância de percurso) por cada passo em direção à estação de Metro mais próxima. Assim, uma habitação localizada na área de impacto pode ganhar um prêmio de \$1300-3000 ou possuir um valor 2 a 5% acima do valor médio das habitações na cidade.

Num estudo realizado no estado de Texas, Pan (2013) analisou o impacto do metropolitano de Houston no preço das propriedades residenciais com recurso não só ao tradicional modelo OLS como também a outro modelo econométrico. Os resultados do modelo OLS mostram que há um efeito positivo nas propriedades localizadas entre 1 e 3 milhas de distância da estação de Metro enquanto que ambos os modelos mostram um efeito negativo no preço das propriedades localizadas até ¼ milha de distância da estação de Metro.

Andersson et al. (2010) recorram ao modelo de preços hedónicos e estudaram o impacto da linha *High-Speed Rail* (HRS) no preço das habitações da região metropolitana de Taiwan. Concluíram que a acessibilidade da estação de Metro HRS é pouco robusta e significativa em comparação com outros outputs obtidos no modelo relacionados com atributos estruturais e de vizinhança. O custo da tarifa associada à linha de Metro e a sua localização inacessível são duas das razões que podem justificar os resultados insignificantes ou fracamente significativos segundo os autores deste estudo.

Um estudo realizado em Paris e em Manchester revelaram que a proximidade a estações de Metro e de Elétrico tende a diminuir o preço das habitações, ou seja, há um prêmio negativo no preço das habitações que estão próximas das linhas ferroviárias (Papon et al., 2013; Forrest et al., 1996). Os efeitos negativos que resultam da proximidade do sistema metropolitano das propriedades estão associados, na maioria dos casos estudados, a externalidades negativas como o ruído, o congestionamento e os edifícios históricos que afetam a qualidade paisagística (Pan, 2013; Papon et al., 2013; Forrest et al., 1996).

Embora alguns estudos apontem impactos negativos sobre a proximidade das habitações às estações de Metro, a maioria dos casos estudados mostram que o transporte ferroviário, em particular, as linhas de Metro, proporcionam valorizações nos solo urbano próximo das estações e essa valorização diminui com o aumento da distância da habitação à estação de Metro (Grass, 1992; Al-Mosaind, 1993; Hess e Almeida, 2007; Bae et al., 2003; Andrade e Maia, 2009; Dorantes et al., 2011; Pagliara e Papa, 2011; Zhang e Jiang, 2014; Li et al., 2015; Diao, 2015; Dai et al., 2016; Sun et al., 2016).

## **Variação temporal do impacto**

No que respeita ao impacto das estações de Metro nos preços imobiliários ao longo do tempo, desde a fase do planeamento de uma linha de Metro até à sua fase de operação consolidada, realizaram-se vários estudos.

Grass (1992) analisou diversos bairros da região metropolitana de Washington DC onde o Metro circula definindo uma variável *dummy* que faz a distinção entre áreas de impacto e áreas de controlo. Esta variável *dummy* assume o valor de 0 quando a propriedade está dentro da área de controlo e 1 quando está dentro da área de impacto. Com recurso a funções de preços hedónicos, os outputs dos modelos regredidos mostraram uma relação direta significativa entre a abertura do Metro e o preço das propriedades residenciais que estão próximas da estação. O preço médio das propriedades situadas nas áreas de impacto é 19% superior ao preço médio das propriedades localizadas nas áreas de controlo.

Bae et al. (2003) estudaram o impacto da linha 5 do Metro de Seul no preço das habitações em quatro períodos de tempo, antes e depois da inauguração do Metro. Os autores recorreram a uma amostra de 241 transações para quatro anos (1989, 1995, 1997 e 2000) correspondentes ao anúncio da construção do Metro, um ano durante a construção, o ano de conclusão e três anos após a sua abertura. Os resultados do modelo de preços hedónicos apontaram que a distância da linha 5 da estação de Metro tem um efeito estatisticamente significativo no preço das habitações apenas antes da abertura da linha.

Pagliara e Papa (2011) usaram a tecnologia *Geographic Information System* (GIS) para analisar o impacto do Metro de Nápoles sobre o preço das habitações com base em dados de séries temporais (considera-se dois períodos 2001-2005 e 2005-2008). Os números mostraram que, para diferentes rotas, os efeitos nos preços da habitação em diferentes períodos variaram. Os efeitos são mais significantes para estações que abriram em 2001 uma vez que os autores dispunham de dados para análise durante os sete anos seguintes à abertura. Além disso, mesmo para a mesma rota de trânsito ferroviário, os efeitos nos preços da habitação em diferentes períodos também foram diferentes.

Pan (2013) mostrou que o preço das propriedades próximas das estações do Metro de Houston aumentaram significativamente após a abertura da linha em 2004, o que é consistente com os resultados apresentados por Forouhar (2016).

Forouhar (2016), no seu estudo sobre o impacto das estações ferroviárias no preço das propriedades residenciais de Teerão, recorreram ao método *Trend Analysis* e ao modelo *Difference-in-differences* para estudar esta problemática. O autor selecionou quatro estações de Metro, repartidas pelas duas regiões, ao longo de um período de 2004-2012, comparando os preços antes e depois da abertura das estações de Metro (inauguradas em 2009). Conclui-se que há um efeito negativo do Metro de Teerão no preço das propriedades residenciais da região Norte e positivo para as propriedades residenciais da região Sul, após a abertura da estação de Metro em 2009. O estimador PTL (*Polynomial Trend Line*) mostra que a introdução da estação de Shohoda (região Sul) elevou bruscamente o declive do preço das propriedades até 400 metros 36% enquanto que as mesmas propriedades mais distantes seguiram o panorama de recessão do mercado imobiliário de Teerão.

Embora nem sempre seja provado que a abertura de um sistema metropolitano proporciona valorizações nas áreas envolventes, é certo que a construção desta infraestrutura, além do impacto na valorização imobiliária, requalifica os espaços públicos urbanos, garante a redução da emissão de gases com efeito de estufa e aporta incrementos nas zonas envolventes atraindo a atividade retalhista.

### **Impacto em diferentes áreas**

Segundo alguns estudos, o impacto das estações de Metro sobre o preço das habitações varia consoante a localização das habitações. A negligência de fatores territoriais pode conduzir a diferentes conclusões, desconsiderando a importância que os sistemas de Metro têm para as famílias que habitam nos subúrbios das grandes metrópoles.

Dai et al. (2016) procuraram perceber a diferença em termos de influência entre estações de transferência e sem transferência incorporadas em linhas de Metro no preço das habitações da cidade de Pequim. Os resultados mostram que o impacto de uma estação com transferência e sem transferência no preço das habitações mais próximas situadas nos subúrbios é maior do que nas cidades pelo que as habitações localizadas nessas zonas registam um preço médio de 6575,95 yuan/m<sup>2</sup>, maior do que o valor (3368,33 yuan/ m<sup>2</sup>) registado nas áreas urbanas.

No estudo de Sun et al. (2016), a linha 3 do Metro de Tianjin tem mais influência nas áreas não urbanas do que em áreas urbanas. Em áreas não urbanas, se o imóvel está localizado até 1000 metros, o seu preço aumenta em 24,74% enquanto que em áreas



urbanas, o preço apenas aumenta em 7,9%. No entanto, o coeficiente de estimação desta última variável não é estatisticamente significativo. Ainda, os resultados da regressão para a região inteira mostram que o coeficiente de distância à estação de Metro mais próxima é -0,099011, em valor absoluto. Isto significa que se o imóvel se encontra até 1 quilómetro de cada linha, o preço aumenta 9,9011%. Comparando os diferentes níveis de influência da linha 3 da estação de Metro de Tianjin nas diferentes áreas (urbanas, não urbanas e região inteira) percebe-se que a linha 3 do Metro tem uma maior influência nos subúrbios da cidade do que no centro da cidade.

Em Madrid, Dorantes et al. (2011) encontraram que o preço marginal por cada metro de distância da estação Metrosur tem diferentes impactos em cada um dos cinco municípios localizados na periferia de Madrid. Uma habitação a 1000 metros de distância da estação Metrosur mais próxima custa entre 2,18% e 3,18% (dado o município) menos do que outra localizada ao lado do Metro, *ceteris paribus*.

Pagliara e Papa (2011) mostra também que as novas estações de Metro da região suburbana de Piscinola tem impacto positivo no valor das propriedades devido à acessibilidade adquirida até ao centro de Nápoles através da linha 1 do metropolitano.

Enquanto que nos centros urbanos o transporte público é diversificado e oferece diferentes opções e complementaridade intermodal, nos subúrbios a diversidade de meios de transporte não é igual nem a frequência do serviço, o que faz com que as infraestruturas de transporte continuem a necessitar de ser melhoradas.

Tal como mostram os resultados destes estudos, o Metro é considerado um meio de transporte importante na deslocação diária das famílias que habitam nos subúrbios das cidades uma vez que o fenómeno de gentrificação é uma realidade atual em diversos países do mundo. Quer isto dizer que, a alteração do preço das habitações e a localização residencial das famílias justifica o fenómeno de migração das famílias, desde a região central da cidade, onde o preço das propriedades é maior, para as áreas periféricas que são bem servidas por sistemas de transporte metropolitano, onde os preços das propriedades vão diminuindo lentamente.

### **O alcance espacial do impacto do Metro no preço dos imóveis**

É importante realçar que, em relação à definição da potencial área de influencia do Metro sobre o preço das habitações, a literatura não fornece uma medida/área específica

nem um critério de avaliação, o que leva a concluir que a definição da mesma depende de cada investigador consoante o contexto local.

Diao (2015) definiu uma zona de impacto de ½ milha (cerca de 800 metros) à volta da estação de Metro justificando que corresponde a uma distancia percorrível a pé de forma confortável e é usada frequentemente para definir a área de influencia das estações ferroviárias na literatura do planeamento dos transportes. Este autor concluiu que os habitantes pagam um prémio por viver nessa área em função da acessibilidade proporcionada.

Já Grass (1992) concluiu que o impacto do Metro sobre o preço das habitações é maior em áreas até ¼ milha (cerca de 400 metros) em torno da estação, definidas também como áreas de impacto.

Todavia, diversos autores concluem que a área de influência com maior impacto sobre o preço dos imóveis é quando a habitação se situa até 500 metros em torno da estação de Metro, alcançado o seu pico em termos de preço (Al-Mosaind, 1993; Zhang e Jiang, 2014).

No entanto, a maioria dos estudos opta por considerar uma variável continua para avaliar a acessibilidade do Metro, definindo a distância linear ou a distância em percurso real da propriedade à estação de Metro (Bae et al., 2003; Hess e Almeida, 2007; Andrade e Maia, 2009; Dorantes et al., 2011; Dai et al., 2016; Sun et al., 2016).

## **Os casos em Portugal**

Em Portugal, a literatura sobre a relação entre o preço das propriedades e a proximidade das estações de Metro está pouco consolidada, realizando-se apenas, até à data, poucos estudos empíricos. Apesar disso, no que respeita à utilização de funções de preços hedónicos, até ao presente momento, vários investigadores utilizaram este método para estudar os atributos que determinam o preço das propriedades (Pinho, 1992; Teixeira et al., 2010; Marques et al., 2010).

Reis (2011), procurou avaliar o impacto que o Metro do Porto produz na valorização imobiliária dos municípios do Porto e Matosinhos. A autora, socorreu-se, para o efeito, de uma amostra composta por 561 transações ocorridas nos municípios (396 no Porto e 165 em Aveiro) entre 1 de Junho de 2006 e 31 de Agosto de 2010. A autora incluiu

no modelo variáveis explicativas não só relativas ao vetor Habitação como também aos vetores Acessibilidade e Metro.

A verdade é que esta autora não encontrou evidências de que a proximidade do Metro gere um prémio positivo no preço das habitações, pelo contrário, surpreendentemente, as conclusões deste estudo apontam para um prémio negativo relativamente à proximidade de uma habitação à estação de Metro mais próxima. Estima-se que por cada metro de proximidade a uma estação o preço das habitações venha reduzido em 0,005%, por cada dez metros o valor reduz-se 0,05% e por cada cem metros, 0,5%. Apesar deste impacto ter muito pouca expressão, é estatisticamente significativo para um nível de confiança superior a 99%.

Martínez e Viegas (2012), na tentativa de encontrar um novo quadro financeiro para a operação do sistema de Metro e o desenvolvimento de infraestruturas no município de Lisboa, analisaram o potencial da aplicação de um mecanismo de financiamento *Land Value Capture*, usando o modelo hedónico de preços espacial e um modelo de simulação. Os autores afirmam que a aplicação deste mecanismo poderia aumentar significativamente o ritmo de construção da rede de Metro e reduzir o défice operacional das empresas de Metro.

Em conformidade com a afirmação anterior, um estudo realizado pela Metro do Porto (2014) mostra que, através de um modelo de avaliação financeira com quatro cenários de hipótese considerados ao longo de um período de avaliação de 1995 a 2036, se adicionarmos às receitas operacionais as externalidades económicas, sociais e ambientais promovidas pela construção do Metro do Porto, os resultados operacionais passam a ser fortemente positivos.

Além disso, os autores deste estudo realçam que o Metro do Porto é um projeto que em termos económicos, sociais e ambientais é altamente rentável pois acrescenta maior qualidade de vida, competitividade e sustentabilidade ao espaço metropolitano do Porto, porém, se a Sociedade de Metro do Porto não se apropriar devidamente das externalidades que resultariam em receitas, correrá o risco de se tornar financeiramente insustentável.

Já Pascoal (2016) avaliou o impacto do sistema de Metro do Porto na valorização imobiliária para os municípios da Póvoa de Varzim e Vila do Conde e concluiu que a proximidade ao Metro não influencia o preço dos imóveis.

De modo a tornar a perceção e comparação dos estudos empíricos mais dinâmica encontra-se em seguida um sumário com os resultados dos estudos empíricos revisitados

sobre o impacto do transito ferroviário na valorização imobiliária em diversos países (ver tabela 1) e em Portugal (ver tabela 1).

Autore(s) Ano	Cidade/Região (Sistema Ferroviário)	Preço da propriedade (fonte)	Medida de acessibilidade	Principais resultados: efeito da proximidade do Metro no preço das propriedades
Grass 1992	Washington D.C., Columbia Sistema Metropolitano de Washington	Preço de transação (Serviço diretório de imóveis do distrito de Columbia e Censur da população e habitação dos EUA)	Variável dummy para os anos 1970 e 1980 (antes e depois da inauguração do Metro) que faz a distinção entre área de impacto e área de controle A área de impacto é definida como uma área até um raio de um quarto de milha (400 metros) em torno da estação e a área de controle possui as mesmas características da área de impacto com uma única exceção, não está situada perto de uma estação de Metro	O preço médio das habitações aumenta 19% na área de impacto em comparação com a área de controle (Modelo 1) O preço médio das habitações aumenta 37% na área de impacto em comparação com a área de controle (Modelo 2) Isto indica que houve uma significativa diferença entre o preço das habitações nas áreas de impacto/controle em 1980, pelo que a abertura do Metro causou aumentos no preço das habitações adjacentes ao próprio
Al-Mosaind 1993	Portland, Oregon Corredor Este do Sistema de Metro (MAX)	Preço de venda	Distância baseada no percurso real a pé, variável dummy para propriedades que distam até 500 metros em torno da estação (modelo 1). Propriedades que distam até 500 metros da estação de Metro (modelo 2)	O preço das propriedades é mais elevado \$4,32, em média, para propriedades até 500 metros da estação em comparação com outras propriedades (Modelo 1) O preço das propriedades diminui 21,75 \$/m por cada 100 metros de distância da estação (Modelo 2)
Forrest et al. 1996	Manchester, Reino Unido Metrolink	Preço de venda (Sociedade de construção nacional)	Quatro variáveis dummy: propriedades até 1 e entre 1 e 2 quilômetros da estação mais próxima onde a rota Metrolink opera; propriedades até 1 e entre 1 e 2 quilômetros da estação mais próxima onde a rota Metrolink não opera	A proximidade das estações de Metro provoca um efeito negativo no preço das propriedades em três dos quatro coeficientes, sendo que o outro não é estatisticamente significativo
Bae et al. 2003	Seul, Coreia do Sul Linha 5 do Sistema Metropolitano de Seul	Preço médio de venda em cada um dos quatro anos, 1989, 1995, 1997 e 2000 correspondentes ao anúncio da construção do Metro, um ano durante a construção, o ano de conclusão e três anos após a sua abertura. (Banco imobiliário <i>Budongsan</i> )	Distância da estação mais próxima	A análise hedônica para cada um dos anos mostra que a distância da linha 5 da estação de Metro de Seul tem um efeito estatisticamente significativo no preço das habitações apenas antes da abertura da linha, este efeito evapora-se após a abertura
Hess e Almeida 2007	Buffalo, Nova Iorque Metro de Buffalo	Valor de avaliação da propriedade (Banco de dados avaliados da cidade de Buffalo)	Distância linear à estação Metro mais próxima e distância de percurso à estação de Metro mais próxima.	Ao longo do sistema, as propriedades localizadas até um raio de distância de meia milha das estações de Metro são valorizadas \$2,31 (usando a distância linear) e \$0,99 (usando a distância de percurso) por cada passo em direção à estação de Metro mais próxima
Andrade e Maia 2009	Recife, Brasil Metro de Recife	Preço de transação (Corretores imobiliários)	Distância da estação de Metro mais próxima	O preço do solo urbano diminui 3% por cada 100 metros de distância da estação de Metro
Andersson et al. 2010	Taiwan, China <i>High Speed Railway Line</i> (HSR)	Preço de venda	Distância da estação mais próxima	Admitindo dois dos modelos estimados, as conclusões indicam um prêmio de 3%, 4% para uma habitação equivalente a quatro em vez de oito quilômetros da estação
Mirantes et al. 2011	Madrid, Espanha Linha 12 do Metro de Madrid	Preço de venda (Maior website do mercado imobiliário espanhol, <a href="http://www.idealista.com">www.idealista.com</a> )	Distância da estação Metrosur mais próxima	Uma habitação a 1000 metros de distância da estação Metrosur mais próxima custa entre 2,18% e 3,18% menos (dependendo do município) do que outra habitação perto da estação Metrosur, <i>ceteris paribus</i>
Pagilara e Papa 2011	Nápoles, Itália Metro de Nápoles	Variação do preço (Observatório do mercado imobiliário)	Comparação entre <i>catchment areas</i> com <i>control areas</i> em dois períodos 2001- 2005 e 2005-2008. Define-se <i>catchment areas</i> como uma área de 500 metros em torno da estação de Metro (equivalente a um percurso a pé de 7 minutos) e <i>control areas</i> de igual forma apenas não está próxima de uma estação de Metro	O preço das habitações que estão próximas das estações de Metro incorporadas em <i>catchment areas</i> é superior do que aquelas que estão abrangidas por <i>control areas</i> na maioria dos locais estudados e ao longo do tempo

**Tabela 1:** Efeitos da proximidade das estações ferroviárias na valorização imobiliária (casos de estudo)

**Fonte:** Investigação própria

Autore(s) Ano	Cidade/Região (Sistema Ferroviário)	Preço da propriedade (fonte)	Medida de acessibilidade	Principais resultados: efeito da proximidade do Metro no preço das propriedades
Papon et al. 2013	Paris, França Linha de Elétrico T3	Preço de venda (Cartório notarial de Paris)	Dummies para a distância em torno da estação mais próxima cruzado com um dummy antes/depois da operação do T3.	O preço das habitações junto à rota diminui cerca de 5% para habitações até 200 metros do lado Norte e entre 200 e 400 metros do lado Sul. A evolução do preço das habitações ao longo da rota, <i>ceteris paribus</i> , após a operação do eléctrico T3 foram positivas a partir de 200 metro do lado Sul da linha (5% entre 200 e 400 metros e 3% entre 600 e 800 metros), embora não tenham sido significativas estatisticamente
Pan 2013	Houston, Texas METRORail	Preço de venda (base de dados imobiliária <i>InfoUSA</i> de 2007)	Dummy para casa vendidas antes e depois da abertura da linha de Metro. Cinco grupos medidos pela distância da estação, até um quarto de milha da estação de Metro, até um quarto a meia milha da estação de Metro, até meia a uma milha da estação de Metro, até uma milha a duas milhas da estação de Metro e até duas milha a três milhas da estação de Metro.	A estimação por OLS revela que a linha de Metro tem efeitos significativamente positivos nas propriedades localizadas entre uma e três milhas de distância da estação de Metro enquanto que o modelo MLR mostra efeitos insignificativos apenas nessas propriedades No entanto, ambos os modelos mostram a acessibilidade das estações de Metro provocam um impacto negativo no preço das propriedades localizadas até um quarto de
Zhang e Jiang 2014	Nanjing, China Metro de Nanjing	Preço de venda (Mercado imobiliário de Nanjing)	Distância da estação mais próxima (variável dummy): até 500 metros da estação; até 1000 metros; até 1500 metros e até 2000 metros	A proximidade do Metro tem um impacto positivo no preço das propriedades em todas as variáveis testadas, no entanto, o maior impacto é alcançado quando a distância é menor do que 500 metros
Li et al. 2015	Pequim, China Metro de Pequim	Preço de transação e o preço de mercado (Centro de pesquisa de transporte de Pequim)	Dummies temporais baseadas no ano de transação. Distância à estação de Metro mais próxima	O preço dos imóveis aumenta em 14% por cada quilómetro que se reduza a distância à estação mais próxima para imóveis até 3 quilómetros da estação, 3,9% para imóveis entre 3 e 5 quilómetros e 1,2% para imóveis acima de 5 quilómetros da estação O preço das propriedades localizadas até 1 quilómetro da estação de Metro aumenta 9,9011%
Sun et al. 2016	Tianjin, China Linha 3 do Metro de Tianjin	Preço médio de transação (Website de pesquisa imobiliária de Tianjin)	Distância linear da estação de Metro mais próxima	
Forouhar 2016	Teerão, Irão <i>Tehran's Metro Rail System</i> (TMRS)	Preço de venda (Agências imobiliárias, sistema de informação de gestão habitacional, sistema de informação de gestão imobiliária do Irão)	Seleciona-se duas áreas de análise para a distância da estação de Metro mais próxima: até um quarto de milha (400 metros) da estação para propriedades "analisadas" ( <i>treated groups</i> ) e superior a uma milha (1600 metros) da estação para propriedades propriedades de "controle" ( <i>control groups</i> ). O período de análise é entre 2004-2012, antes e depois do transporte público ser inaugurado ou expandido.	Os modelos utilizados mostram um efeito negativo do TMRS no preço das propriedades residenciais da região Norte. O declive do preço das propriedade incorporadas em <i>treated groups</i> até um quarto de milha (400metros) da estação Shariati caiu 41% depois da abertura da estação em 2009 Ao contrário da região Norte, verificou-se um efeito elevado e positivo para propriedades localizadas perto das estações do Sul. A introdução da estação de Shohada aumentou bruscamente o declive do preço das propriedades até um quarto de milha em 36% para <i>treated groups</i>
Dai et al. 2016	Pequim, China Metro de Pequim	Preço de venda (Sites de gestão de transações imobiliárias de Pequim)	Distância da estação mais próxima através do percurso mais curto a pé ou da distância de viagem normal	Se a distância a uma estação de Metro é reduzida em 100 metros, o preço unitário dos imóveis próximos da estação de transferência aumenta 96,9 yuan/m <sup>2</sup> , em média. Este valor é maior do que o nível de mercado global (27,4 yan/m <sup>2</sup> ) e bastante superior ao valor registado para imóveis em torno de uma estação sem transferência (23 yuan/m <sup>2</sup> )
Diao 2016	Boston, Massachusetes Metro de Bosto, MBTA	Preço de transação (Suffolk County Registry of Deeds)	Distância da estação de Metro mais próxima. Variável dummy para propriedades que distam até um raio de meia milha (800 metros) em torno da estação de metro	As famílias de Boston pagam um prémio para viver dentro da área definida (zona de impacto) pelos autores, ou seja, até um raio de 800 metros em torno das estações de Metro

**Tabela 2:** Continuação da tabela anterior

**Fonte:** Investigação própria

Autore(s) Ano	Cidade/Região (Sistema Ferroviário)	Preço da propriedade (fonte)	Medida de acessibilidade	Principais resultados: efeito da proximidade do Metro no preço das propriedades
Reis 2011	Porto Metro do Porto	Preço de transação (Imobiliária Remax)	Distância de percurso pedestre da habitação à estação de Metro mais próxima	Por cada metro de proximidade a uma estação o preço das habitações reduz 0,005%, por cada dez metros o preço reduz-se em 0,05% e por cada cem metros 0,5%.
Martínez e Viegas 2012	Lisboa Metro de Lisboa	Preço de oferta do proprietário ou avaliado pelo corretor (Corretor de imóveis online)	Distância de percurso pedestre da estação de Metro mais próxima	Segundo os modelos aplicados (além da análise hedónica), os resultados obtidos mostram que as políticas sobre o valor de captura sugeridas pelos autores poderiam significativamente aumentar o ritmo de construção da rede de Metro e reduzir o défice operacional da empresa de Metro.
Pascoal 2016	Porto Metro do Porto	Variação do preço de oferta (Census e base de dados do mercado imobiliário)	Tempo em minutos do centro de freguesia à estação de metro mais próxima	Os modelos aplicados mostram que a proximidade ao Metro não têm influência no preço dos imóveis.

**Tabela 3:** Efeitos da proximidade das estações ferroviárias na valorização imobiliária (Casos portugueses)

**Fonte:** Investigação própria

## **Capítulo 3 – Estudo Empírico**

### **Visão geral do Metro do Porto**

O Metro do Porto é um sistema de Transporte Público da Área Metropolitana do Porto composto por 6 linhas que compõe uma rede de 67 quilómetros. É considerado como uma das maiores redes de metropolitano ligeiro da Europa, possui no total 82 estações de Metro, 14 estações subterrâneas e 68 estações à superfície, espalhadas por sete concelhos da Área Metropolitana (ver anexo I).

A linha A (linha azul) foi a primeira linha do Metro a ser inaugurada, no dia sete de Dezembro de 2002, entre o Senhor de Matosinhos e a estação da Trindade. Entrou em funcionamento com apenas por 11.8 quilómetros e 18 estações, o comprimento desta linha é atualmente de 15.6 quilómetros, desde o Senhor de Matosinhos até ao Estádio do Dragão. A linha B (linha vermelha) do Metro do Porto abriu em 2005 entre o Estádio do Dragão e Pedras Rubras e, no ano seguinte, assiste-se à sua expansão com a abertura do segmento Pedras Rubras/Póvoa de Varzim no sentido Norte, completando um comprimento total da linha de 33.6 quilómetros. A linha C (linha verde) abriu em 2005, entre o Fórum da Maia e o Estádio do Dragão. No ano seguinte, surge um alargamento da linha devido à abertura do segmento Fórum da Maia/ISMAI, passando a contar com uma extensão total de 19.6 quilómetros, entre Campanhã e ISMAI. A linha D (linha amarela) é inaugurada e aberta à exploração comercial em Setembro de 2005. Inicialmente, o seu troço desenvolveu-se entre a Câmara de Gaia e o Pólo Universitário, adicionando 5.7 quilómetros de rede ao Metro do Porto e 10 estações, quase todas elas subterrâneas. Numa segunda fase (2006), procedeu-se à abertura do segmento Pólo Universitário/Hospital S. João, aumentando o comprimento da linha em direção Norte. Em 2008, a linha volta novamente a ser intervencionada devido à abertura de um novo troço no sentido Sul, entre a Câmara de Gaia e D. João II. Em 2011, surge a abertura da estação de Santo Ovídio, alargando a linha amarela em direção Sul. A linha E (linha violeta) é inaugurada em 2006 e faz a ligação entre o Aeroporto do Porto e o Estádio do Dragão. A linha tem um comprimento de 16.7 quilómetros e pela primeira vez, em Portugal, um aeroporto é servido por uma rede de Metro. A linha F (linha laranja) foi inaugurada em 2011, entre Fânzeres e a Senhora da Hora com um comprimento equivalente a 17.4 quilómetros.

Além das seis linhas de metropolitano, o Metro do Porto opera também o Funicular dos Guindais (elevador que liga a zona da baixa da Ribeira à zona alta da



Batalha), construído em 2004. Em relação ao futuro, a rede terá uma nova linha (linha rosa/G) que fará a ligação entre a Casa da Música e a estação São Bento. A sua inauguração está prevista para 2022 e terá um comprimento de 2.7 quilómetros, divididos por 4 estações. Também no âmbito da projeção futura da rede, está prevista extensão da linha amarela. Mais especificamente, trata-se do prolongamento para sudeste da linha amarela, entre o atual terminal em Santo Ovídio e Vila D'Este, cujo troço terá aproximadamente 3.2 quilómetros e 3 novas estações.

A linha amarela do metropolitano do Porto é uma linha importante do sistema que tem vindo a enfrentar uma elevada procura de passageiros. Esta linha garante a cobertura de dois Municípios, o Município do Porto e o Município de VNG. Pela sua importância, a base de dados inclui, de forma integral, propriedades que estão próximas das estações de Metro da linha amarela. As restantes linhas são analisadas de forma parcial, ou seja, somente habitações que estão próximas das estações de Metro ao longo das linhas da cidade do Porto, como iremos ver em seguida.

## **Base de dados**

A base de dados desta análise empírica foi recolhida a partir de uma empresa especializada em dados estatísticos de imóveis residenciais, a Confidencial Imobiliário. Para resistir à interferência de fatores temporais, todos os dados integrados são relativos a habitações transacionadas em diversos Municípios<sup>2</sup> do Distrito do Porto ao longo do ano de 2016, desde Janeiro a Dezembro.

A base de dados possui no total 6358 observações e fornece informação específica sobre localização (latitude e longitude), preço de venda e um conjunto de atributos estruturais como sejam a área bruta, a idade do imóvel, o tipo de edifício, o número de lugares de garagem e o número de quartos.

Uma vez que a área espacial do estudo empírico remete para os Municípios do Porto e VNG, aplicamos um filtro e com isso reduzimos a amostra para cerca de 2000 transações. Cumulativamente a este procedimento, consideram-se os seguintes critérios:

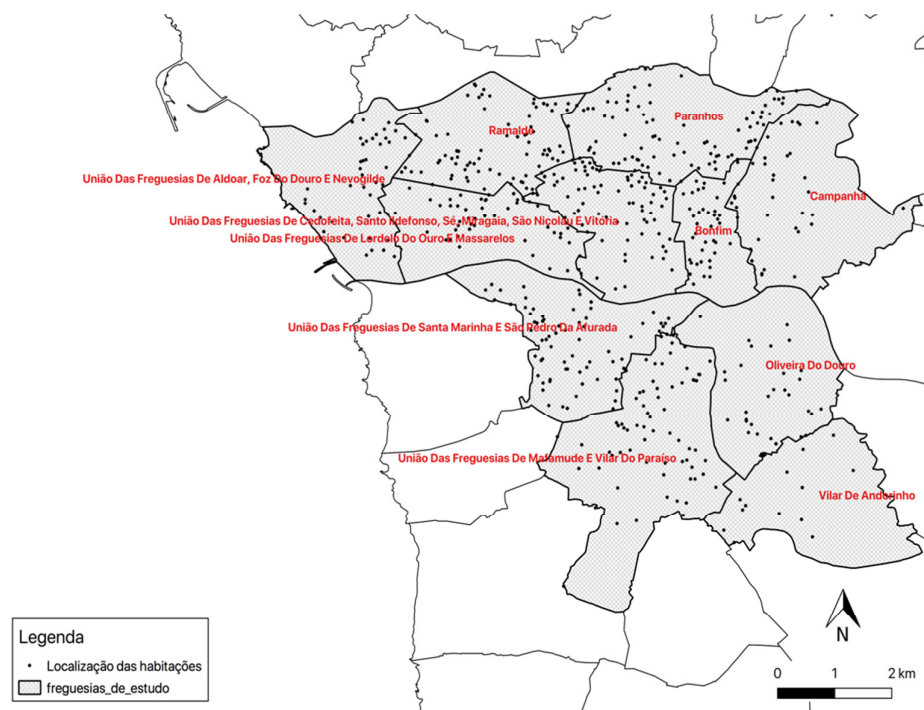
- Exclusão de observações que não contém o ano de construção;
- Exclusão de habitações novas e em ruína;

---

<sup>2</sup> A Base de dados contém transações ocorridas em seis Municípios tais como Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Valongo e VNG.

- Apenas são válidas moradia(s) e edifício(s) em altura;
- Não são consideradas habitações destinadas a arrendamento;
- O número de quartos de cada habitação é definido com base no tipo de fração<sup>3</sup>;
- Exclusão de observações que não constem informação válida.

Após este processo de filtragem de informação, realizamos o tratamento de informação relacionado com os atributos de localização e a partir do cálculo das distâncias euclidianas, detetamos que 69 observações possuíam localização errada pelo que foram retiradas da base de dados. Feitos os ajustamentos, a análise empírica baseia-se numa amostra de 1065 imóveis transacionados, 745 estão localizados no Município do Porto e 320 no Município de VNG. A distribuição espacial das habitações é apresentada na figura 5, que resulta da utilização do software Quantum GIS (QGIS)<sup>4</sup>.



**Figura 5:** Representação espacial da área de estudo e localização das habitações

**Fonte:** Criação própria (usando o software QGIS)

<sup>3</sup> Assumiu-se que, a título exemplificativo, se a tipologia da habitação é um apartamento T3, então equivale a três quartos. A aplicação desta regra é válida para todas as restantes tipologias de habitação, desde T0 a T5. É importante também realçar que, para observações onde não conste informação (designada como NULL), que é o que acontece com a maioria das observações, considerou-se a regra aplicada à tipologia T0, ou seja, assume valor zero.

<sup>4</sup> O QGIS é um software livre de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados, nomeadamente criação de mapas com várias camadas.

Os dados são respeitantes a habitações unifamiliares (19%) e plurifamiliares (81%), sendo que todas as habitações são usadas e estão localizadas nas mais diversas áreas urbanas do Porto e Vila Nova de Gaia (VNG), nomeadamente nas imediações das estações do sistema do Metro do Porto. Segundo os dados da Metro do Porto (2017) são consideradas as freguesias com elevado dinamismo habitacional e onde as estações de Metro registaram uma elevada taxa de ocupação média do Sistema de Metro Ligeiro ao longo do período de 2017. Devido à importância do Sistema de Metro do Porto no Município do Porto consideramos todas as freguesias tais como Campanhã, Ramalde, União das Freguesias (UF) de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória, Paranhos, Bonfim, UF de Lordelo do Ouro e Massarelos, UF de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde enquanto que no Município de VNG são consideradas as freguesias de Oliveira do Douro, UF de Santa Marinha e São Pedro da Afurada, Vilar do Andorinho e UF de Mafamude e Vilar do Paraíso.

Em relação aos atributos de vizinhança, decidimos definir variáveis qualitativas tendo em conta o fator de localização da habitação, ou seja, a freguesia em que a habitação está situada. De forma a não incorrer num caso de colinearidade perfeita, definimos (n-1) variáveis dummies por freguesia onde a freguesia de referência (designada como a categoria de referência) é a UF de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória. A escolha da UF de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória deve-se ao facto de esta ser a zona histórica (conhecida como a Baixa da cidade) e central da cidade do Porto e, portanto, é a zona mais importante da cidade e mais conhecida pelos cidadãos da cidade e visitantes externos. Como tal, é uma área de forte concentração de atividades terciárias e de interesse turístico. Todas as comparações são feitas em relação a essa freguesia e, quer isto dizer que as variáveis dummies mostram as diferenças, quando elas existem, mas não sugerem as suas razões.

No que toca a atributos de localização, estes foram recolhidos a partir do Google Maps com base no sistema de coordenadas geográficas em graus decimais (latitude e longitude), tendo sido catalogado um conjunto de amenidades urbanas explicativas do preço da habitação. A recolha de informação acerca das amenidades urbanas é feita com base nesse sistema de coordenadas uma vez que esse é o sistema que vigora na base de dados cedida pela Confidencial Imobiliária, sendo esse o elo de ligação para o cálculo das

distâncias. Assim, a partir do cálculo de distâncias euclidianas<sup>5</sup> entre um ponto de localização (imóvel) e outro (estabelecimentos e serviços) para cada observação procedeu-se à criação dos atributos de localização (ver figura 6). Os atributos de localização considerados na criação do modelo explicativo do preço da habitação neste estudo são os seguintes:

- a distância da habitação ao Estabelecimento de Ensino mais próximo, desde Infantilário ao Estabelecimento de Ensino Superior;
- ao Hospital mais próximo;
- ao Parque (também designado como espaços verdes) mais próximo;
- ao centro, nomeadamente à Câmara Municipal mais próxima (classificada como *CBD*<sup>6</sup>);
- ao Shopping mais próximo.

Importa realçar que, a proximidade ao estabelecimento de Ensino é feita com base em três possibilidades como a proximidade ao infantário, à escola secundária e à universidade, sendo que o que determina a sua escolha é a distância mínima, selecionada entre as três possibilidades. Desta forma, dependendo da localização do imóvel é selecionado o Estabelecimento de Ensino determinante na formação do preço. De forma a garantir a volatilidade do comportamento do consumidor no que toca à escolha de habitação quando este fator é importante, através desta forma assegura-se o Estabelecimento de Ensino mais influente perante a localização do imóvel.

A proximidade à Câmara Municipal, é uma variável proxy que visa demonstrar que a centralidade de um Município é determinante na valorização do imóvel devido à sua elevada acessibilidade para o exterior assim como qualquer outra zona no interior das cidades, sendo esta uma zona de forte concentração de atividades terciárias (comércio e serviços). No entanto, é importante salientar que o preço do solo urbano em função da distância ao centro não é uniforme pois existem pequenos clusters urbanos motivados por diversos fatores (congestionamento no centro e acessibilidades melhoradas nos novos

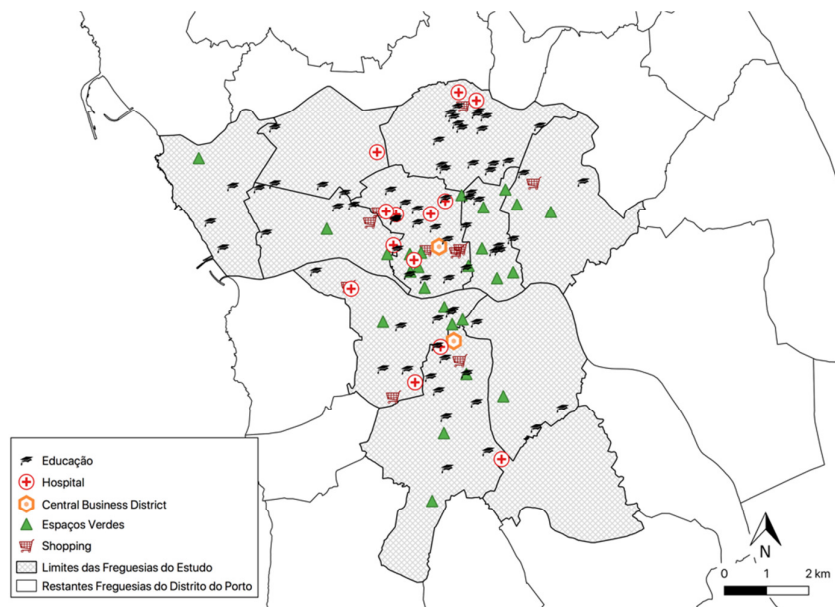
---

<sup>5</sup> O cálculo das distâncias euclidianas é efetuado com base na fórmula do Teorema de Pitágoras através do Microsoft Excel. A fórmula é computadorizada em Excel sendo necessário carregar as informações geográficas (latitude e longitude) dos pontos espaciais de forma a que a fórmula possa ler e calcular as distâncias.

<sup>6</sup> Usou-se como a distância ao CBD a distância à Câmara Municipal do Porto na região do Porto e a distância à Câmara Municipal de VNG na região suburbana.

clusters permitem o fácil acesso a outros eixos da cidade, por exemplo) e fazem com que o preço aumente nesses locais.

Além destes atributos de localização, inicialmente considerou-se a distância da habitação ao hipermercado mais próximo (variável D\_HIPERMERCADO), mas através de uma análise prévia verificamos a existência de problemas de multicolinearidade. Os resultados da matriz de correlações entre as variáveis explicativas indicavam que as variáveis de distância ao hospital mais próximo (D\_HOSP) e a variável D\_HIPERMERCADO estavam fortemente correlacionadas. Com base nesses resultados, para eliminar o problema da multicolinearidade optou-se por eliminar a variável D\_HIPERMERCADO e verificamos que o modelo apresenta melhores resultados com a sua exclusão. Notamos também que, na maioria dos centros comerciais incluídos nos atributos de localização do modelo possuem hipermercados no mesmo edifício, o que também permite justificar a sua ausência.



**Figura 6:** Localização dos estabelecimentos e serviços considerados para a criação dos atributos de localização

**Fonte:** Criação própria

### Criação da variável distância à estação de Metro

Para além de todos os atributos mencionados anteriormente, torna-se necessário destacar a variável-chave deste estudo empírico, a distância da habitação à estação de Metro mais próxima. De forma a analisar a relação entre o preço das habitações e a acessibilidade ao Metro, são consideradas em análise 30 estações de Metro, o que corresponde a cerca de 37% do número total de estações do Sistema de Metro Ligeiro do Porto (ver lado esquerdo da figura 7).

A escolha desta área, representada por 30 estações de Metro, é também motivada pela taxa de ocupação registada nos troços entre as estações selecionadas no presente estudo ao longo do ano de 2017 (ver tabelas do anexo II). Verificamos que a maioria dos troços registaram ao longo do período de 2017 taxas de ocupação superiores à taxa ocupação média do sistema de Metro do Porto.

Conforme já referido no capítulo segundo, não existe um critério estático para definir uma distância influente sobre o preço da habitação e que este seja válida perante todas as realidades espaciais.

Como no estudo de Dai et al. (2016), com o objetivo de encontrar uma área de influência de uma estação de Metro sobre o preço dos imóveis, em primeiro calculamos as distâncias entre as estações de Metro e as habitações da amostra e em seguida definimos variáveis dummy (D2-D12) que representam diferentes intervalos de distâncias de uma habitação à estação de Metro mais próxima. O significado específico de cada variável é mostrado na tabela 3.

As distâncias euclidianas são calculadas da mesma forma que os restantes atributos de localização, ou seja, a partir da base de dados sobre a localização das habitações e a georreferenciação das estações de Metro. O modelo semi-logarítmico é selecionado e inclui as variáveis dummy (D2-D12), atributos estruturais e de localização. A tabela 4 mostra os resultados da regressão depois da inclusão das variáveis de distância.

Com exceção do coeficiente D2, que apresenta um sinal contrário ao esperado, todos os coeficientes D4-D12 apresentam um sinal esperado. No entanto, apenas o coeficiente D4 é estatisticamente significativo para um nível de confiança de 95%, por isso podemos ver que a área de influência que tem um impacto significativo no preço das habitações é até 400 metros em torno da estação de Metro. Esta área de influência produziu efeitos significativos sendo esta distância considerada como uma distância razoável em termos de percurso pedestre (Grass, 1992; Hess e Almeida, 2011; Forouhar, 2016).

No lado  
pode-se  
anéis de  
presente estudo  
nomeadamente  
Trindade, Faria  
e Aliados.

Variável	Distância à estação mais próxima
D2	<200 metros (sim 1, caso contrário 0)
D4	<400 metros (sim 1, caso contrário 0)
D6	<600 metros (sim 1, caso contrário 0)
D8	<800 metros (sim 1, caso contrário 0)
D10	<1000 metros (sim 1, caso contrário 0)
D12	<1200 metros (sim 1, caso contrário 0)

direito da figura 7  
visualizar alguns  
influência do  
na região do Porto,  
nas estações da  
Guimarães, Bolhão

**Tabela 4:** Variáveis de  
de influência das estações

**Fonte:** Criação própria

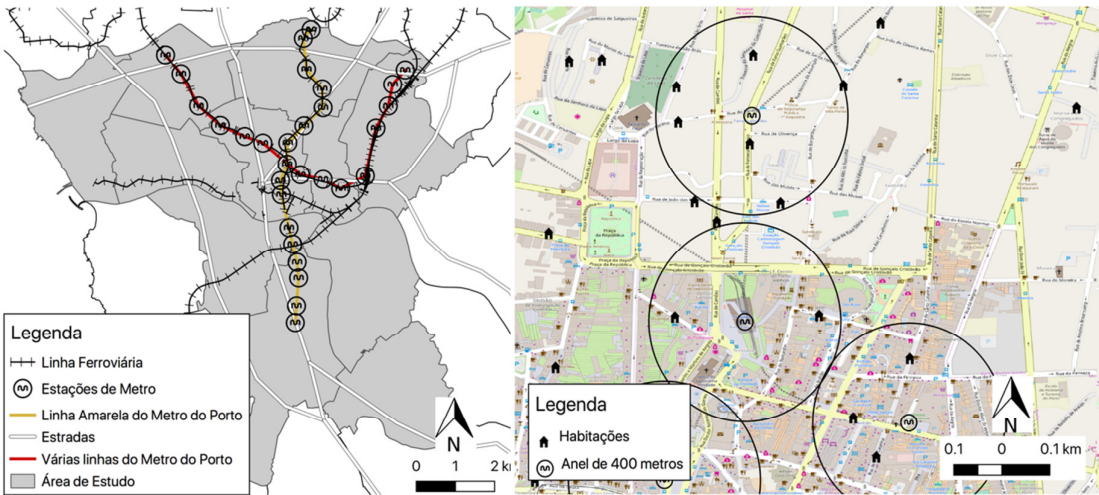
Variável	Coefficiente
D2	-0,0031 (-0,1187)
D4	0,0414 (2,3182)**
D6	0,0115 (0,5158)
D8	0,0034 (0,1504)
D10	0,0078 (0,3250)
D12	0,0303 (1,40515)
Nº Observações	1065
R²	0,6571
R² Ajustado	0,6518
F	125,5043
Prob(F)	0,0000

Estadística de teste t entre parênteses  
\*\*\*nível de significância de 1%  
\*\*nível de significância de 2%  
\*nível de significância de 10%

distância para definir a área  
de Metro  
(usando Excel)

**Tabela 5:** Resultados da regressão com inclusão das variáveis de distância D2-D12

**Fonte:** Regressão realizada no software EViews. Formatação em Excel.



Variável	Descrição	Unidades	Fonte	Sinal Esperado
PV	Valor de oferta da habitação para venda em 2016	Euros	Confidencial Imobiliário	
<i>Atributos Estruturais</i>				
IDADE	Ano de construção	Anos	Confidencial Imobiliário	-
N_QUARTOS	Número de quartos	Número	Confidencial Imobiliário	+
AREA	Área bruta	Metros quadrados	Confidencial Imobiliário	+
GAR	Número de lugares de garagem	Número	Confidencial Imobiliário	+
TIPO	Assume 1 se é moradia, 0 se é apartamento	Dummy	Confidencial Imobiliário	+
<i>Atributos de Localização</i>				
D_CBD	Distância euclidiana à Câmara Municipal mais próxima	Metros	Excel	-
D_HOSP	Distância euclidiana ao Hospital mais próximo	Metros	Excel	-
D_ENSINO	Distância euclidiana ao Estabelecimento de Ensino mais próximo	Metros	Excel	-
D_PARQUE	Distância euclidiana ao Parque mais próximo	Metros	Excel	-
D_SHOPPING	Distância euclidiana ao Shopping mais próximo	Metros	Excel	-
D_METRO	Assume 1 se a habitação está localizada na zona de impacto, 0 caso contrário	Dummy	Excel	+
<i>Atributos de Vizinhança</i>				
F_Bonfim	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Bonfim, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	-
F_Campanhã	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Campanhã, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	-
F_Ol_Douro	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Oliveira do Douro, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	-
F_Paranhos	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Paranhos, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	-
F_Ramalde	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Ramalde, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	incerto
F_Aldoar	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Aldoar, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	+
F_Lordelo	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Lordelo, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	incerto
F_Mafamude	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Mafamude, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	-
F_St_Marinha	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Santa Marinha, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	-
F_Andorinho	Assume 1 se a habitação pertence à freguesia de Vilar de Andorinho, 0 se não pertence	Dummy	Confidencial Imobiliário	-

**Figura 7:** Localização das estações de Metro do Porto e visualização das áreas de influência

**Fonte:** Criação própria (usando o software QGIS)

**Tabela 6:** Descrição das variáveis

**Fonte:** Criação própria (usando Excel).

Todas as variáveis recolhidas para a análise podem ser vistas de forma sintetizada na tabela 5 e são representativas das características estruturais, de localização e de vizinhança das habitações em estudo.



## Estatística descritiva

A tabela 4 apresenta as estatísticas descritivas para todas as variáveis deste estudo empírico. As variáveis independentes testadas envolvem cinco atributos estruturais, dez

Variável	Observação	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo
PV	1065	152931,12	135189,43	12000,00	1750000,00
IDADE	1065	30,70	25,63	4,00	468,00
N_QUARTOS	1065	2,54	1,13	0,00	5,00
AREA	1065	124,00	77,93	25,00	663,00
GAR	1065	0,10	0,44	0,00	5,00
TIPO	1065	0,18	0,38	0,00	1,00
D_CBD	1065	2413,10	1202,62	140,26	5987,19
D_HOSP	1065	1194,55	776,99	62,52	4407,89
D_ENSINO	1065	530,96	364,94	0,00	2680,03
D_PARQUE	1065	1004,42	729,25	32,39	3128,00
D_SHOPPING	1065	1396,50	840,88	15,63	4391,12
D_METRO	1065	0,29	0,45	0,00	1,00
F_Bonfim	1065	0,07	0,26	0,00	1,00
F_Campanhã	1065	0,05	0,21	0,00	1,00
F_Ol_Douro	1065	0,04	0,20	0,00	1,00
F_Paranhos	1065	0,22	0,41	0,00	1,00
F_Ramalde	1065	0,14	0,35	0,00	1,00
F_Aldoar	1065	0,06	0,23	0,00	1,00
F_Lordelo	1065	0,07	0,25	0,00	1,00
F_Mafamude	1065	0,11	0,32	0,00	1,00
F_St_Marinha	1065	0,12	0,33	0,00	1,00
F_Andorinho	1065	0,02	0,15	0,00	1,00

atributos de vizinhança e seis atributos de localização, com destaque para a variável referente à proximidade à estação de Metro – distância euclidiana da habitação à estação de Metro mais próxima.

**Tabela 7:** Estatísticas descritivas

**Fonte:** Dados extraídos do EViews. Formatação em Excel.

A análise da correlação (disponível no anexo III) revela um par de correlações positivas moderadas entre variáveis que merecem destaque. Apesar disso, estas não estão fortemente correlacionadas e, portanto, não indiciam problemas de multicolinearidade

(pois apresentam correlações inferiores a 0,8). A respeito dos atributos estruturais, verificam-se correlações positivas entre a variável AREA com as variáveis PV e N\_QUARTOS, o que seria expectável. É natural que, conforme funciona o mercado imobiliário, quanto maior é a área bruta da habitação obrigatoriamente maior será o seu preço de venda devido ao acréscimo da área por metro quadrado que, efetivamente, é valorada pelo rácio €/m<sup>2</sup>.

Verificam-se correlações positivas entre a variável D\_CBD com as variáveis D\_HOSP e D\_SHOPPING, o que é natural devido à estreita proximidade espacial entre estas variáveis. Note-se que a matriz de correlações (disponível no anexo III) não apresenta correlações fortes devido a uma análise preliminar, que resultou na exclusão da variável D\_HIPERMERCADO, permitindo com isso corrigir o problema de multicolinearidade.

## Capítulo 4 – Estimação do modelo e resultados empíricos

### Estimação do modelo

Neste ponto apresenta-se os modelos de regressão bem como a sua construção.

Tal como já foi dito anteriormente, a transformação Box-Cox é um procedimento conhecido na literatura hedónica. Neste estudo, através da base de dados realizamos regressões para cada uma das formas funcionais como forma alternativa da transformação Box-Cox. A partir dos resultados percebemos que a equação da regressão do modelo semi-logarítmico é aquele que produz o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Portanto, a forma funcional apresentada pela equação (15) é adotada para a análise estatística do preço das habitações próximas das estações de Metro conforme aplicado nos estudos de mais recentes (Dai et al., 2016; Sun et al., 2016).

Assim, a função deste estudo empírico é a seguinte:

$$\begin{aligned} \ln PV = & \beta_0 + \beta_1 IDADE_i + \beta_1 N\_QUARTOS_i + \beta_1 AREA_i + \beta_1 GAR_i \\ & + \beta_1 TIPO_i + \beta_1 D\_CBD_i + \beta_1 D\_HOSP_i + \beta_1 D\_ENSINO_i \\ & + \beta_1 D\_PARQUE_i + \beta_1 D\_SHOPPING_i + \beta_1 D\_METRO_i \\ & + \beta_1 F\_Bonfim_i + \beta_1 F\_Campanhã_i + \beta_1 F\_Ol\_Douro_i \\ & + \beta_1 F\_Paranhos_i + \beta_1 F\_Ramalde_i + \beta_1 F\_Aldoar_i \\ & + \beta_1 F\_Lordelo_i + \beta_1 F\_Mafamude_i + \beta_1 F\_St\_Marinha_i \\ & + \beta_1 F\_Andorinho_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (17)$$

### Resultados

Estimámos por OLS a equação 17. Numa primeira aproximação, incluímos 1065 habitações em torno de todas as estações de Metro seleccionadas e distribuídas ao longo de toda a área geográfica deste estudo.

Os resultados da estimação são apresentados na tabela 7. Posteriormente, de forma a investigar com maior detalhe o impacto do Metro do Porto no preço das habitações mais próximas em diferentes áreas urbanas, reestimamos, também por OLS, a equação 17, desta

vez considerando as observações localizadas no centro urbano do Porto e no subúrbio da cidade. A regressão efetuada para a centro urbana do Porto compreende 745 habitações ao longo de 24 estações de Metro, enquanto que o subúrbio inclui todas as estações de Metro da cidade de VNG (nomeadamente as estações de Jardim do Morro, General Torres, Câmara de Gaia, João de Deus, Dom João II e Santo Ovídeo), onde a linha amarela do Metro tem enorme movimento pendular diário.

Variável	Coefficiente
Constante	4,8386 (103,0943)***
IDADE	-0,0027 (-2,9581)***
N_QUARTOS	0,0518 (6,5908)***
AREA	0,0020 (12,8844)***
GAR	0,0578 (3,7346)***
TIPO	0,0095 (0,2946)
D_CBD	2,35E-05 (1,7146)*
D_HOSP	2,46E-05 (1,6318)
D_ENSINO	-2,99E-05 (-1,7830)*
D_PARQUE	-4,34E-05 (-3,1570)***
D_SHOPPING	-3,03E-05 (-2,4468)**
D_METRO	0,0294 (2,0245)**
F_Bonfim	-0,0703 (-2,2367)**
F_Campanhã	-0,1446 (-3,5558)***

F_OL_Douro	-0,1745 (-5,0083)***
F_Paranhos	-0,0307 (-1,3654)
F_Ramalde	-0,0011 (-0,0451)
F_Aldoar	0,0846 (1,8469)*
F_Lordelo	-0,0230 (-0,7333)
F_Mafamude	-0,1572 (-6,6159)***
F_St_Marinha	-0,1126 (-4,3567)***
F_Andorinho	-0,1689 (-3,7209)***

Nº Observações	1065
R²	0,6978
R² Ajustado	0,6917
F	114,6880
Prob(F)	0,0000
DW	1,9817

Estatística de teste t entre parênteses  
 \*\*\*nível de significância de 1%  
 \*\*nível de significância de 2%  
 \*nível de significância de 10%

**Tabela 8:** Resultados da regressão do modelo semi-logarítmico

**Fonte:** Resultados obtidos no EViews. Formatação em Excel.

Tal como podemos ver na tabela 7, o modelo tem uma capacidade explicativa de aproximadamente 70% da variação total nos preços das habitações. Quer dizer, 70% da variação dos preços das habitações, em torno da média, são explicados pelo modelo (nomeadamente pelas suas variáveis explicativas tais como os atributos estruturais, de localização e de vizinhança).

A partir desta primeira aproximação, podemos verificar que apenas cinco dos vinte e dois coeficientes das variáveis do modelo não são estatisticamente significativas (as

variáveis TIPO, D\_HOSP, F\_Paranhos, F\_Ramalde e F\_Lordelo). Os coeficientes das variáveis D\_CBD, D\_ENSINO e F\_Aldoar são estatisticamente significativos para um nível de significância de 10% enquanto que os coeficientes das variáveis D\_SHOPPING, D\_METRO e F\_Bonfim são estatisticamente significativos para um nível de 5%. Os restantes onze coeficientes são estatisticamente significativos para um nível de significância de 1%.

Em relação aos sinais esperados das variáveis explicativas do modelo, podemos afirmar que todas as variáveis apresentam sinais esperados, com a exceção D\_CBD e D\_HOSP.

Conforme o esperado, os preços de uma habitação estão relacionados com os atributos estruturais. O tipo de edifício (TIPO) apresenta expectavelmente um coeficiente positivo o que quer dizer que os consumidores valorizam mais as moradias em relação aos apartamentos. Isto quer dizer que os consumidores estão dispostos a pagar um prémio de 0,95% pelas moradias em detrimento dos apartamentos, sendo este um comportamento habitual do mercado imobiliário. Por cada quarto adicional que a habitação possua (N\_QUARTOS), os consumidores estão dispostos a pagar um valor superior, em média, de 5,18% em função desse acréscimo absoluto, dado um nível de confiança de 99%. O coeficiente estimado da variável AREA apresenta também um impacto positivo no preço da habitação. Efetivamente, por cada metro quadrado adicional à área útil da habitação o preço aumenta 0,20%, por cada 10 metros aumenta 2%, por cada 100 metros aumenta 20%, em média. Quando a habitação possui garagem verifica-se um aumento de 5,78% no preço em consequência dessa variação em uma unidade. Quer isto dizer que o facto da habitação possuir garagem é um fator relevante para os compradores o que parece ser um fenómeno verificável no mercado imobiliário da região do Porto devido à dependência atual dos indivíduos em relação ao transporte individual (Reis, 2011). O sinal negativo do coeficiente estimado IDADE indica que o preço de uma habitação é menor há medida que a idade do imóvel aumente. Ou seja, por cada ano adicional de uma habitação o seu preço reduz-se em 0,27% e por cada 10 reduz-se em 2,7%, para um nível de significância de 1%.

Em relação aos atributos de localização, o coeficiente positivo da variável dummy D\_Metro implica que as estações de Metro têm um impacto positivo no preço das habitações localizadas até 400 metros em torno da estação de Metro. A proximidade das estações de Metro implica uma valorização no preço das habitações, em média, de 2,94% aproximadamente. Por outras palavras, 2,94% representa a diferença percentual entre o

preço médio de uma habitação localizada na área de influência e uma habitação localizada a mais de 400 metros de distância, mas dentro da área de estudo.

Dentro dos restantes coeficientes estimados que apresentam sinais esperado, aquele que apresenta maior impacto é a distância ao parque mais próximo (D\_PARQUE). Isto significa que por cada 100 metros de aproximação ao parque mais próximo haverá um aumento no preço em 0,43%. No caso da variável D\_ENSINO, por cada 100 metros de aproximação ao estabelecimento de ensino mais próximo, seja este um infantário, uma escola secundária ou um estabelecimento de ensino superior, o preço aumenta aproximadamente 0,30%, verificando-se um aumento equivalente no preço para a variável D\_SHOPPING.

Relativamente aos coeficientes estimados relacionados com os atributos de vizinhança é importante realçar que, o único coeficiente estimado com sinal positivo é o que diz respeito à variável F\_Aldoar (excetuando a variável F\_Ramalde visto que não é estatisticamente significativa) o que não é um resultado surpreendente tendo em consideração apenas os coeficientes estatisticamente significativos. Assim, o preço médio das habitações localizadas na UF de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde são 8,46% superiores face ao preço das habitações localizadas na zona histórica do Porto. Este resultado acompanha a realidade atual do mercado imobiliário do Porto pois um dos bairros habitacionais mais caros da cidade é a UF de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde. De acordo com um estudo recente do INE (2017) com dados relativos ao 1º trimestre do ano de 2018 verifica-se que o bairro da cidade do Porto com o preço médio por metro quadrado mais caro é a UF de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde, seguindo-se a zona histórica do Porto que ultrapassou a UF de Lordelo do Ouro e Massarelos ficando a ocupar o terceiro lugar do ranking do valor mediano das vendas por metro quadrado de alojamentos familiares na cidade do Porto. As restantes freguesias da amostra apresentam um preço médio abaixo da zona de referência destacando-se as freguesias da cidade de VNG que, naturalmente, apresentam maiores diferenças percentuais no preço médio de uma habitação. Mais especificamente, o preço médio de uma habitação em Oliveira do Douro é 17,45% inferior em relação ao preço de uma habitação situada na UF de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória.

Quanto aos sinais dos coeficientes que têm sinal contrário ao esperado, a regressão aponta para um aumento no valor das habitações com o afastamento ao centro ou aos hospitais.

Esperava-se que o sinal da variável  $D\_CBD$  fosse negativo, no entanto este verifica-se positivo o que quer dizer que por cada metro que nos afastemos do CBD o preço de uma habitação aumenta 0,0023%, ou seja, aumenta 0,23% por cada 100 metros que nos afastemos do CBD. O mesmo acontece com a variável  $D\_HOSP$  sendo que neste caso por cada 100 metros que nos afastemos do hospital mais próximo o preço de uma habitação diminui 0,25%, mas esta variável tem um coeficiente que não é estatisticamente significativo.

Como já foi referido anteriormente, a não uniformidade entre a relação preço e distância ao centro ( $D\_CBD$ , definido por nós como a distância à câmara municipal mais próxima) é um dos fatores que eventualmente poderá estar a influenciar o sinal do coeficiente da variável  $D\_CBD$ . De facto, é verdade que por um lado viver perto do CBD poderá ser um fator preponderante na decisão do comprador devido às facilidades de que se dispõe mas por outro lado com a crescente concentração populacional e empresarial nos centros urbanos torna-se evidente o surgimento de diversos problemas (como o congestionamento) bem como a oportunidade para o surgimento de outros clusters habitacionais noutras partes dos centros urbanos que possibilitam usufruir das mesmas amenidades sem qualquer tipo de externalidade negativas. Devido a essa janela de oportunidades habitacionais, o preço das habitações localizadas nessas áreas poderá influenciar o preço das habitações localizadas perto do CBD, desfavorecendo a importância da proximidade ao CBD como variável explicativa do preço de um imóvel. A área envolvente à Avenida da Boavista sendo uma área com uma forte centralidade económica e cultural da cidade do Porto que oferece imensos serviços e boas acessibilidades ao longo da avenida, poderá ser uma área habitacional que esteja a influenciar o resultado desta variável.

Em relação ao sinal do coeficiente da variável  $D\_HOSP$ , o seu sinal esperado é incerto o que quer dizer que nem sempre esta variável é influente na explicação do preço habitacional (Dai et al., 2016). A concentração populacional que é frequente nos serviços hospitalares que resulta em congestionamento de tráfego, como é o caso do Hospital de São João no Porto e do Centro Hospitalar de VNG poderá ser uma das possíveis razões para o sinal do coeficiente desta variável (note-se, no entanto, que não é estatisticamente significativa).

No final de contas, o modelo associado à estimação anterior pode ser descrito pela seguinte função:

$$\begin{aligned}
LnPV = & \beta_0 - 0,0027IDADE_i + 0,0518N\_QUARTOS_i + 0,0020AREA_i \\
& + 0,0578GAR_i + 0,0095TIPO_i + 0,0000235D\_CBD_i \\
& + 0,0000246D\_HOSP_i - 0,0000299D\_ENSINO_i \\
& - 0,0000434D\_PARQUE_i - 0,0000303D\_SHOPPING_i \\
& + 0,0294D\_METRO_i - 0,0703F\_Bonfim_i \\
& - 0,1446F\_Campanhã_i - 0,1745F\_Ol\_Douro_i \\
& - 0,0307F\_Paranhos_i + 0,000011F\_Ramalde_i \\
& + 0,0846F\_Aldoar_i - 0,0230F\_Lordelo_i \\
& - 0,1572F\_Mafamude_i - 0,1126F\_St\_Marinha_i \\
& - 0,1689F\_Andorinha_i + \varepsilon_i
\end{aligned} \tag{18}$$

O teste de significância global do ajustamento dado pela estatística de teste F de Snedecor diz que o modelo é globalmente significativo. O valor deste teste foi de 114,7 e, portanto, com base no valor Prob(F) associado a este teste permite-nos concluir que a hipótese nula é rejeitada pelo que o modelo é globalmente significativo.

No que respeita à violação das hipóteses clássicas, foram realizados diversos testes de forma a corrigir os problemas econométricos. Como Sun et al. (2016) excluímos a variável D\_HIPERMERCADO para eliminar o impacto da multicolinearidade entre as variáveis explicativas. Por vezes eliminar variáveis independentes do modelo pode ser arriscado pois estas podem ser importantes para a explicação da variável dependente. Nesse caso teríamos omissão de variáveis independentes relevantes, mas no caso do presente estudo consideramos que a variável D\_HIPERMERCADO não é relevante para a explicação do preço de uma habitação porque está incorporada de forma indireta na variável D\_SHOPPING.

Mesmo tendo conhecimento que o modelo semi-logarítmico pode melhorar a heteroscedasticidade em comparação com o modelo linear, realizamos o teste de diagnóstico de heteroscedasticidade para averiguar a sua existência ou não (Dai et al., 2016). Mais detalhadamente, realizamos o teste de White tendo-se concluído a existência de heteroscedasticidade. Naturalmente que o desejável é que haja homoscedasticidade, ou seja, que os erros sejam constantes ao longo do tempo. De forma a ultrapassar este problema, com recurso ao E-views realizamos a proposta de White (designadamente o método Huber-White), chegando aos resultados apresentados na tabela 7. Importa realçar que com



esta correção, os valores dos coeficientes alteraram ligeiramente tal como o nível de significância em algumas variáveis. A proposta de White não corrige o modelo de heteroscedasticidade (apenas torna válido os testes de hipótese) mas valida, assintoticamente a inferência estatística (os testes de hipótese são válidos).

Em relação ao fenómeno de autocorrelação, avaliando o valor da estatística de Durbin-Watson (1981) podemos concluir que não há ausência de autocorrelação o que quer dizer que os erros não estão correlacionados. Embora não haja evidência de autocorrelação na estimação por OLS, em análises de dados espaciais, como é o caso, a autocorrelação espacial refere-se ao fenómeno pelo qual um valor observado num local depende dos valores em locais vizinhos. Por isso, deve-se considerar modelos de econometria espacial na avaliação do impacto do Metro no preço dos imóveis (Diao, 2015). Nesse sentido, o nosso estudo incluí uma análise espacial com base na literatura de economia espacial, com o objetivo último de avaliar a existência de dependência espacial nos preços de venda das habitações (com base numa análise espacial preliminar e em modelos de econometria espacial), por forma a complementar os resultados obtidos nos modelos hedónicos de preço já estimados.

### **Diferentes extensões do impacto na área urbana e suburbana do Porto**

Seguindo a metodologia usada no estudo de Zhang e Jiang (2014), para provar que as estações de Metro têm diferentes impactos no preço de uma habitação em diferentes áreas, selecionamos uma área urbana e suburbana dentro da nossa amostra. Por outras palavras, repartimos o total das habitações da amostra por duas áreas de análise, a área urbana (com 746 habitações localizadas em todas as freguesias da cidade do Porto) e suburbana (com 320 habitações localizadas nas freguesias de VNG).

A definição das variáveis segue o mesmo padrão do modelo anterior (apresentado na tabela 7) sendo que a única alteração foi considerar a UF de Mafamude e Vilar do Paraíso como freguesia de referência para a área suburbana. Para a área urbana manteve-se como freguesia de referência a UF de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória. Assim, manteve-se a utilização da forma funcional semi-logaritmica, linearizando apenas a variável dependente.

A partir dos resultados da regressão, apresentados na tabela 8, podemos concluir que a proximidade das estações de Metro não tem um impacto significativo no preço de uma habitação numa das áreas consideradas, nomeadamente na área suburbana. Ao contrário dos resultados obtidos no estudo de Zhang e Jiang (2014), o coeficiente da variável D\_Metro na área urbana é ligeiramente superior à área suburbana. Quer isto dizer que as habitações situadas na área de influência da área urbana têm um prémio, em média, de 3,85%, enquanto que as habitações da área suburbana têm um prémio, em média, de 2,95%, (note-se que este último coeficiente é estatisticamente insignificante). Com o intuito de melhorar os resultados da estimação, nomeadamente na área suburbana acrescentou-se informações ao modelo (adicionou-se imóveis localizados na freguesia de Madalena e Canelas, aumentando o número da amostra) mas mesmo assim os resultados não melhoraram significativamente. Os testes aos resíduos foram realizados de forma a garantir que a estimação por OLS não viola as hipóteses clássicas.

	Urbano	Subúrbio
<b>Variável</b>	<b>Coefficiente</b>	
Constante	4,8398 (94,54626)***	4,7733 (125,8811)***
IDADE	-0,0024 (-2,6285)***	-0,0059 (-6,5942)***
N_QUARTOS	0,0537 (5,7125)***	0,0503 (4,0175)***
AREA	0,0020 (10,8430)***	0,0017 (6,7136)***
GAR	0,0394 (2,1533)**	0,0801 (3,5185)***
TIPO	0,0141 (0,4092)	0,0965 (2,6486)***
D_CBD	1,49E-05 (0,5952)	7,84E-06 (0,5137)
D_HOSP	3,95E-05 (1,3979)	2,91E-05 (1,5876)
D_ENSINO	-1,23E-05 (-0,4276)	-5,98E-05 (-2,3960)**
D_PARQUE	-5,29E-05 (-2,3986)**	2,59E-05 (1,2622)
D_SHOPPING	-3,89E-05 (-1,7894)*	-2,17E-05 (-1,3216)
D_METRO	0,0385 (2,2279)**	0,0295 (1,0495)
F_Bonfim	-0,0962 (-2,6002)***	-
F_Campanhã	-0,1677 (-3,2524)***	-
F_Ol_Douro	-	-0,0448 (-1,9413)*
F_Paranhos	-0,0245 (-1,0184)	-
F_Ramalde	0,0183 (0,6198)	-
F_Aldoar	0,0992 (1,7592)*	-
F_Lordelo	-0,0248 (-0,6490)	-
F_Mafamude	-	-
F_St_Marinha	-	0,0476 (2,7122)***
F_Andorinho	-	-0,0731 (-1,7116)*
Nº Observações	745	320
R²	0,6826	0,7323
R² Ajustado	0,6752	0,7200
F	91,9695	59,6018
Prob(F)	0,0000	0,0000
DW	2,0228	1,7267

Estadística de teste t entre parênteses  
 \*\*\*nível de significância de 1%  
 \*\*nível de significância de 2%  
 \*nível de significância de 10%

**Tabela 9:** Resultados obtidos no EViews

**Fonte:** Resultados obtidos no EViews. Formatação em Excel.

## **Análise espacial**

Por forma a complementar a nossa análise dos modelos convencionais de preços hedónicos, incluímos aqui uma abordagem de economia espacial, que nos vai permitir, com maior rigor, analisar as amenidades locais que determinam as preferências do consumidor no processo de decisão de compra de uma habitação (Marques et al., 2010).

Na verdade, enquanto que os estudos tradicionais aplicam o modelo de preços hedónicos, os estudos recentes apontam para o uso de modelos de econometria espacial, com o objetivo de testar a dependência espacial, como por exemplo, nos estudos de Marques et al. (2010), Dorantes et al. (2010) e Diao (2015).

Isto porque a natureza espacial dos dados neste tipo de problemas deve ser tida em conta aquando da modelação, de forma a não se incorrer em erros de dependência espacial e heterogeneidade espacial na análise (que se podem traduzir em estimadores ineficientes, enviesados e inconsistente) (Diao, 2015).

O pressuposto essencial nas interações espaciais é o de que, quanto maior for a proximidade entre habitações (no nosso estudo, as habitações são as unidades espaciais), maior o grau de interação esperado. Dizemos que existe autocorrelação espacial quando habitações que estão espacialmente mais próximas entre elas são mais semelhantes do que habitações que estão mais distantes. Por outras palavras, ocorre dependência espacial quando observações de determinado local  $i$  dependem de outras observações situadas em outros locais  $j$  (sendo  $j \neq i$ ) (Marques et al., 2010). Para sabermos se existe indícios de dependência espacial para os nossos dados, vamos primeiro realizar uma análise espacial preliminar.

### **Definição de vizinhança entre habitações**

A matriz de peso espacial  $W$  é a matriz que tem em conta a interação entre a localização das habitações consoante o número de habitações presentes na amostra (Dorantes et al., 2011). Nesse sentido, a definição do critério de vizinhança pelo qual as interações entre habitações são captadas é de primeira importância para a aplicação espacial empírica.

A definição de vizinhos tem a forma analítica de matriz de pesos espacial  $W_{ij}$ , com pesos não negativos. A matriz de vizinhança espacial indica as habitações de referência (as habitações que são vizinhas umas das outras) e os seus pesos relativos. Estes pesos definem

a importância relativa das outras  $j$  habitações no seu processo de interação (indicam se uma determinada habitação  $j$  e  $i$  interagem), e podem ser vistas como parte das características da habitação  $i$ .

A matriz de peso espacial pode ter a forma de contiguidade ou de distância. Nas matrizes espaciais de contiguidade, o critério de vizinhança é definido pela fronteira física entre habitações. Apesar de se encontrar na literatura espacial habitacional motivação para definir como habitações vizinhas apenas as habitações que partilham fronteira física (quer apenas de lados - Contiguidade Torre; quer lados e cantos - Contiguidade Rainha) – estudo de Mirantes et al. (2011) –, este não nos parece ser o critério mais adequado de vizinhança no mercado habitacional. Por isso, os resultados apresentados neste estudo têm por base uma matriz espacial de distâncias, no qual as habitações vizinhas são definidas segundo um critério de vizinhança de distância em metros.

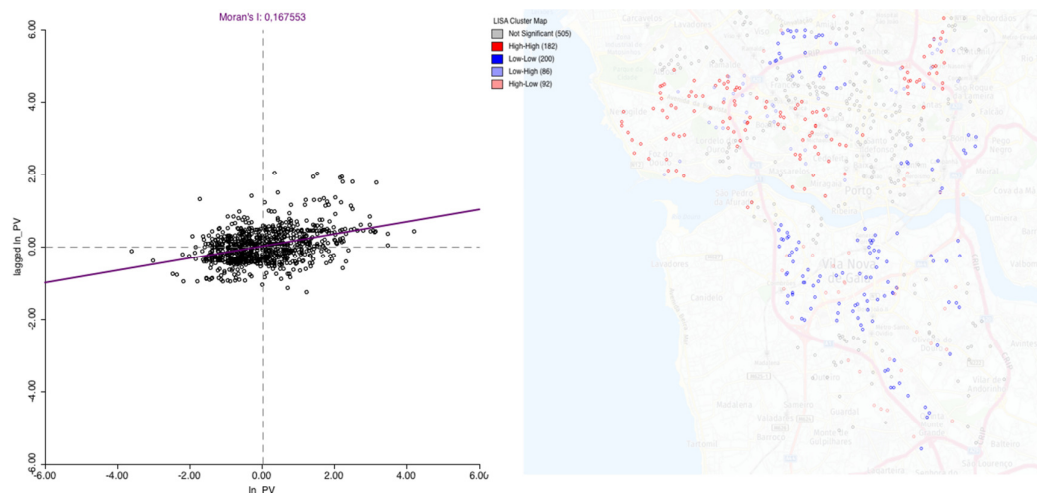
### **Análise espacial preliminar**

Por forma a ter uma ideia preliminar das dinâmicas da dependência espacial para a nossa variável dependente, usamos a estatística I de Moran (com base na matriz espacial de distâncias). Para este efeito, são usados os mesmos dados da estimação por OLS.

A estatística I de Moran varia entre -1 e 1 e testa a existência de autocorrelação espacial, ou seja, o teste é realizado para ver se existe um fenómeno de aglomeração em certas áreas (estatística com valor positivo), ou se áreas geográficas estão espalhadas de forma aleatória pelo espaço (estatística com valor negativo) (Marques et al., 2010).

A estatística I de Moran apresenta um valor de 0,1675 (figura 8, lado esquerdo) e significativo a um nível de significância de 1%, o que indica a possibilidade da existência de efeitos espaciais de vizinhança que não são explicados por efeitos aleatórios. Os quadrantes 1 e 2 indicam pontos de associação espacial no sentido que o preço de uma habitação possui vizinhos com preços semelhantes, quer os preços sejam altos ou baixos.

De forma complementar, usamos a estatística dos Indicadores Locais de Associação Espacial (Indicators of Spatial Association – LISA) para perceber a distribuição espacial dos fenómenos aglomerados, ou seja, a distribuição espacial dos clusters habitacionais (figura 8, lado direito).



**Figura 8:** Estatística I de Moran e mapa de Cluster LISA

**Fonte:** Software Geoda.

Os clusters significativos para habitações com preço de venda elevados são representados espacialmente a vermelho; os clusters para habitações com preços de venda baixos são representados a azul escuro; os clusters para habitações entre preços de venda baixos e altos são representados a azul claro enquanto que os clusters para habitações entre preços de venda altos e baixos são representados a cor de rosa.

Quer a estatística I de Moran como a estatística LISA dão-nos evidência de existência de autocorrelação espacial positiva. Por isso, avançamos a seguir com a apresentação dos modelos espaciais e dos resultados das estimações espaciais.

## Modelos espaciais

Neste estudo usamos o software GeoDa para estimar os seguintes dois modelos de econometria espacial: Modelo de dependência espacialmente desfasada e o Modelo de dependência espacial dos erros.

### Modelo de dependência espacialmente desfasa

O Modelo de dependência espacialmente desfasada é apropriado porque permite perceber em que medida o preço de uma habitação é afetado pelo preço de outras habitações localizadas na vizinhança (Dorantes et al., 2010).

A estrutura do Modelo de dependência espacialmente desfasada pode ser representada da seguinte forma:

$$PV_i = \rho W_1 PV + X\beta + \varepsilon \quad (19)$$

Em que  $W$  é a matriz espacial de pesos;  $W_1 PV$  é a componente autorregressiva espacial que capta os valores médios das observações vizinhas;  $\rho$  é o coeficiente autorregressivo espacial que capta a influência média da unidade vizinha e  $\varepsilon$  é o erro (Marques et al., 2010). Trata-se de um Modelo de Dependência Espacialmente Desfasada porque a variável dependente é desfasa espacialmente.

### **Modelo de dependência espacial dos erros**

O Modelo de dependência espacial dos erros assume que as variáveis do modelo que seguem uma distribuição espacial são omitidas levando a que haja autocorrelação no termo de erro (Dorantes et al., 2010).

Neste modelo, a dependência espacial dos erros ocorre quando o termo do erro de cada habitação está correlacionado com os valores do erro de outras habitações localizadas na vizinhança (Marques et al., 2010).

A estrutura do Modelo de dependência espacial dos erros é dada por:

$$\begin{aligned} PV &= X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon &= PVW_2\varepsilon + \mu \end{aligned} \quad (20)$$

Onde  $W_2\varepsilon$  é o termo de desfasamento espacial do erro arbitrariamente escolhido;  $\lambda$  são os coeficientes autorregressivos estimados e  $\mu$  é um vetor do erro (Marques et al., 2010). Trata-se de um Modelo de dependência espacial de erros porque incorpora um processo espacial autorregressivo no termo de erros.

## Estimação e resultados

As estimações dos dois modelos espaciais são apresentadas na tabela 9.

Variável	Modelo de Dependência Espacialmente Desfasada	Modelo de Dependência Espacial dos Erros		
	Coefficiente			
Constante	2,7630 (9,3298)***	4,8576 (139,71)***	F_Ol_Douro	-0,1156 (-3,5732)***
IDADE	-0,0027 (-11,7801)***	-0,0026 (-11,4757)***	F_Paranhos	-0,0088 (-0,4595)
N_QUARTOS	0,0518 (0,0059)***	0,0497 (8,5378)***	F_Ramalde	0,0138 (0,6032)
AREA	0,0020 (22,2641)***	0,0020 (21,9623)***	F_Aldoar	0,0726 (1,9506)*
GAR	0,0552 (5,1172)***	0,0552 (5,1534)***	F_Lordelo	-0,0113 (-0,4145)
TIPO	0,0207 (1,2843)	0,0280 (1,7354)*	F_Mafamude	-0,0983 (-4,3033)***
D_CBD	-4,46E-06 (-0,3596)	1,85E-05 (-0,9760)	F_St_Marinha	-0,0547 (-2,3987)**
D_HOSP	1,49E-05 (-1,1324)	1,98E-05 (-0,9838)	F_Andorinho	-0,1242 (-3,2549)***
D_ENSINO	4,41E-06 (0,2527)	-5,66E-06 (-0,2439)	Lag coeff. (Rho)	0,4049 (7,0641)***
D_PARQUE	-2,78E-05 (-2,2039)**	-4,63E-05 (-2,4114)**	Lag coeff. (lambda)	- (8,45958)***
D_SHOPPING	-7,04E-06 (-0,6050)	-3,07E-05 (-1,7259)*	Nº observações	1065
D_METRO	0,0263 (2,0728)**	0,0244 (1,6990)*	R²	0,7133
F_Bonfim	-0,0292 (-1,0936)	-0,0672 (-1,9473)*	Akaike info criterion	-985,5940
F_Campanhã	-0,0680 (-1,9247)*	-0,1573 (-3,7208)***	Log likelihood	515,7970
			Estadística de teste z entre parênteses	
			***nível de significância de 1%	
			**nível de significância de 2%	
			*nível de significância de 10%	
				1065
				0,7135
				-979,8690
				511,9344

**Tabela 10:** Resultados da estimação dos modelos espaciais

**Fonte:** Resultados obtidos usando o GeoDa. Formatação em Excel.

Com base nos resultados, e comparando-os aos resultados obtidos pela estimação do modelo não espacial por OLS (tabela 8), vemos que os modelos espaciais se ajustam melhor aos nossos dados; o R2 aumentou e, mais importante, os coeficientes de dependência espacial (dados pelo Rho no SLM e pelo Lambda no SEM, 0,4049 e 0,5747, respetivamente) são ambos elevados, positivos e altamente significativos, dando-nos evidência de que estamos na presença de dependência espacial (por outras palavras, os coeficientes de dependência espacial mostram-nos a influência média das habitações vizinhas numa dada habitação).

Em geral, os sinais apresentados em ambos os modelos são os esperados com a exceção das variáveis D\_HOSP que apresenta um sinal positivo, todavia, não é estatisticamente significativa. Em relação aos coeficientes estimados relacionados com os atributos habitacionais, a variável GAR é a que produz um maior impacto no preço de uma habitação. Este resultado é confirmado pelos resultados do estudo de Mirantes et al. (2011), no qual mostraram que o número de lugares de garagem incluído no preço de uma habitação foi valorizado fortemente pelos resultados desse estudo.

Relativamente à variável-chave deste estudo, a variável D\_METRO, podemos dizer que esta apresenta um sinal positivo e é estatisticamente significativa em ambos os modelos. Visto que os coeficientes de dependência espacial são positivos e significativos, podemos concluir que o preço das habitações é influenciado de forma positiva pela proximidade das habitações ao Metro mais próximo. No Modelo de Dependência Espacialmente Desfasada, a proximidade das estações de Metro implica uma valorização no preço das habitações, em média, de 2,63% aproximadamente enquanto que no Modelo de Dependência Espacial dos Erros implica uma valorização, em média, em cerca de 2,44%.

Em termos gerais, o R2, Log likelihood, Coeficiente de determinação e os critérios de Akaike info e Schwarz são muito parecidos (ambos os modelos adequam-se muito bem aos nossos dados). Além disso, ambos os modelos de correção da autocorrelação espacial apresentam resultados similares nos coeficientes tal como ocorreu no estudo de Mirantes et al. (2011).



## Conclusão

O principal objetivo definido inicialmente para a presente dissertação era avaliar, em termos económicos, qual o impacto de um sistema de transporte público como o sistema de Metro do Porto no preço de uma habitação. Tal como reportam a maioria dos estudos empíricos relacionados com o tema, espera-se que o preço de um imóvel seja positivamente influenciado pela proximidade à estação de Metro e que seu preço espelhe implicitamente essa valorização.

Os nossos resultados indicam que a elevada acessibilidade às estações de Metro produzem um impacto positivo no valor dos imóveis mais próximos. A regressão por OLS mostra evidência de que as habitações mais próximas de uma estação de Metro beneficiam de um acréscimo no seu preço de, em média, 2, 94%. Este resultado vai ao encontro dos reproduzidos pelos estudos de Grass (1992) e Forouhar (2016) onde os autores mostraram que as habitações situadas dentro da área de influência têm efeitos positivos no preço.

Sendo a distância de uma habitação à estação de Metro mais próxima a variável-chave desta dissertação, e visto que a sua natureza é, intrinsecamente, de natureza espacial, consideramos por bem complementar o modelo e de preços hedónicos estimado por OLS com uma abordagem de economia espacial. Pela análise espacial preliminar efetuada, detetámos que havia indícios de dependência espacial na variável dependente e no termo de erro e, por isso, decidimos estimar dois modelos de econometria espacial; o Modelo de Dependência Espacialmente Desfasada e o Modelo de Dependência dos Erros. Em consequência dessa análise, os coeficientes obtidos mostram que há dependência espacial (os coeficientes de dependência espacial dos modelos são altos, positivos e altamente significativos) e, mais importante do que isso, mostram que a variável de distância de uma habitação à estação de Metro é significativa (em ambos os modelos) e o seu coeficiente apresenta o sinal esperado (positivo).

Quer pelo modelo não espacial estimado por OLS, quer pelos modelos espaciais, podemos concluir que as habitações mais próximas de uma estação de Metro vêm o seu preço influenciado positivamente. Assim, as habitações abrangidas pelas áreas de influência ao longo da linha de Metro possuem um valor superior pelo facto de estarem mais próximas das estações de Metro. Este resultado vai de encontro às evidências apresentadas por Mirantes et al. (2011).

Importa realçar que, contrariamente aos resultados dos estudos realizados em anos anteriores sobre o impacto do Metro do Porto na valorização imobiliária como o estudo de Reis (2011) e Pascoal (2016), os resultados da presente dissertação mostram que há, efetivamente, um impacto do Metro do Porto no preço dos imóveis.

Em investigações futuras, seria interessante assegurar, além das variáveis estruturais de uma habitação que a presente dissertação integra, outras variáveis importantes neste âmbito como o número de casas de banho, a existência de aquecimento central, o número de divisões da habitação e a existência de ar condicionado pois são variáveis que podem ajudar a explicar a variável dependente do modelo. A incorporação de outras variáveis de localização como a distância à praia mais próxima e aos locais de maior congestionamento rodoviário também seriam vantajosas. Em termos de variáveis de vizinhança seria interessante considerar os coeficientes de localização de uma habitação e o rendimento mensal por agregado familiar. É certo que a maioria das variáveis sugeridas anteriormente são difíceis de recolher, devido à natureza de proteção de dados dos agentes imobiliários. Em termos de análise propriamente dita, seria interessante dar continuidade à integração de análise espaciais em novas áreas geográficas sendo certo que, em alternativa a esta opção, a recolha de dados para um período de tempo mais alargado (análise de dados em painel) também seria uma opção desafiante.

## Referências Bibliográficas

Al-Mosaind, M. A., Dueker, K. J. e Strathman, J. G. (1993), “Light-Rail Transit Stations and Property Values: A Hedonic Price Approach”, *Transportation Research Record*, Vol. 1400, pp. 91-94.

Andersson D. E., Shyr, O. F. e Fu, J. (2010), “Does high-speed rail accessibility influence residential property prices? Hedonic estimates from southern Taiwan”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 18, pp. 166-174.

Andrade, M. e Maia, M. (2009), “The Recife Metro – The impact on urban development after 20 years”, *Flux*, Nº 75, pp. 57-68.

Bae, C. H., Jun, M. J. e Park, H. (2003), “The Impact of Seoul’s subway Line 5 on residential property values”, *Transport Policy*, Vol. 10, pp. 85-94.

Chin, T. L. e Chau, K. W. (2003), “A critical review of literature on the hedonic price modelo”, *International Journal for Housing and Its Applications* 27, Vol. 2, pp. 145-165.

Cropper, M. L., Deck, B. L., e McConnell, E. K. (1998), “On the Choice of Funtional Form for Hedonic Price Functions”, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 70, Nº 4, pp. 668-675.

Dai, X., Bai, X. e Xu, M. (2016), “The influence of Beijing rail transfer stations on surrounding housing prices”, *Habitat International*, Vol. 55, pp. 79-88.

Diao, M. (2015), “Selectivity, spatial autocorrelation and the valuation of transit accessibility”, *Urban Studies*, Vol. 52, Nº 1, pp. 159-177.

Dorantes, L. M., Paez, A. e Vassallo, J. M. (2011), “Analysis of House Prices to Assess Economic Impacts of New Public Transport Infrastrucutre: Madrid Metro Line 12”, *Journal of the Transportation Research Board*, Nº 2245, pp. 131-139.

Dubé, J., Thériault, M. e Des Rosiers, F. (2013), “Commuter rail accessibility and house values: The case of the Montreal South Shore, Canada, 1992-2009”, *Transportation Research Part A*, Vol. 54, pp. 49-66.

Forouhar, A. (2016), “Estimating the impact of metro rail stations on residential property values: evidence from Tehran”, *Public Transportation*, Vol. 8, pp. 427-451.

Forrest, D., Glen, J. e Ward, R. (1996), “The Impact of Light Rail System on the Structure of House Prices: A Hedonic Longitudinal Study”, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 30, N° 1, pp. 15-29.

Freeman, A. M. (1979), “Hedonic Prices, Property Values and Measuring Environmental Benefits: A Survey of the Issues”. *The Scandinavian Journal of Economics, Measurement in Public Choice*, Vol. 81, N° 2, pp. 154-173.

Goodman, A. C. (1998), “Andrew Court and the Invention of Hedonic Price Analysis”, *Journal of Urban Economics*, Vol. 12, N° 2, pp. 291-298.

Goodman, A. C. e T. G. Thibodeau (1998), “Dwelling age heteroscedasticity in repeat sales house price equations”, *Real Estate Economics*, Vol. 26, N° 1, pp. 151-171.

Grass, R. G. (1992), “The Estimation of Residential Property Values Around Transit Station Sites in Washington, D. C.”, *Journal of Economics and Finance*, pp. 139-146.

Griliches, Z. (1961), “Hedonic price indexes for automobiles: an econometric analysis of quality change”, *National Bureau of Economic Research*, pp. 173-196.

Halvorsen, R. e H. O. Pollakowski (1981), “Choice of Functional Form for Hedonic Price Equations”, *Journal of Urban Economics*, Vol. 10, N° 1, pp. 37.

Hess, D. B. e T, M. Almeida (2007), “Impact of Proximity to Light Rail Rapid Transit on Station-area Property Values in Buffalo, New York”, *Urban Studies (Routledge)*, Vol 44, N° 5/6, pp. 1041-1068.

INE (2017), “Estatísticas de Preços da Habitação ao nível local”.

Lancaster, K. (1966), “A New Approach to Consumer Theory”, *The Journal of Political Economy*, Vol. 74, N° 2, pp. 132-157.

Li, S., Yang, J., Qin, P. e Chonabayashi, S. (2015), “Wheels of Fortune: Subway Expansion and Property Values in Beijing”, *Environment for Development*, pp. 15-30.

Marques, J., Castro, E. e Bhattacharjee, A. (2010), “A localização urbana na valorização residencial: Modelos de autocorrelação espacial”. *15ª Conferência da APDR*. Cabo Verde.

Martinez, L. e Viegas, J. (2012), “The value capture potential of the Lisbon subway”, *Journal of Transport and Land Use*, Vol. 5, N° 1, pp. 65-82.

Metro do Porto (2014), “Avaliação do impacto global da 1ª fase do projecto do Metro do Porto”.

Metro do Porto (2017), “Indicadores Metro”.

Pagliara, F. e Papa, E. (2011), “Urban rail systems investments: an analysis of the impacts on property values and residents’ location”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 19, pp. 200-211.

Pan, Q. (2013), “The impacts of an urban light rail system on residential property values: A case study of the Houston METRORail transit line”. *Transportation Planning Technology*, Vol. 36, N° 2, pp.145-169.

Papon, F., Nguyen-Luong, D. e Boucq, E. (2013), “Should any new light rail line provide real estate gains, or not? The case of the T3 line in Paris”. *13th World Conference on Transport Research*. Rio de Janeiro, Brazil. 15-18 July.

Pascoal, A. (2016), *Análise territorial do impacte da rede de Metro do Porto*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra.

Pinho, F. (1992), *Funções Hedónicas de Preços para o Mercado de Habitação: Aplicação às cidades do Porto e Aveiro*. Porto. Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado em Economia.

Reis, C. (2011), *O impacto do Metro do Porto na valorização imobiliária*. Porto. Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado em Economia.

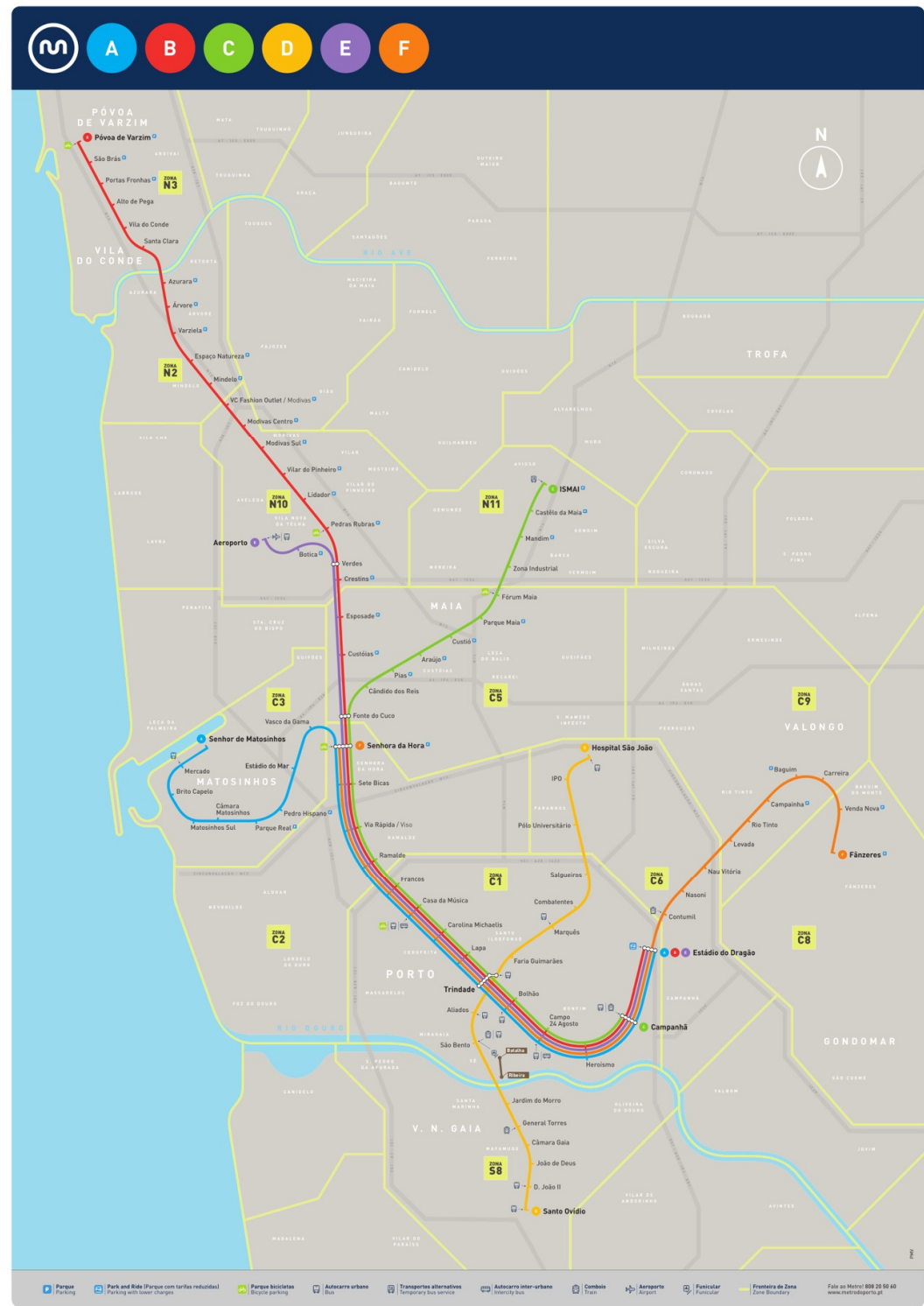
Rosen, S. (1974), “Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition”, *The Journal of Political Economy*, Vol. 82, N° 1, pp. 34-55.

Sun, H., Wang, Y. e Li Q. (2016), “The Impact of Subway Lines on Residential Property Values in Tianjin: An Empirical Study Based on Hedonic Pricing Model”, *Hindawi Publishing Corporation*.

Teixeira, M., Villamandos, N. e Ocerin, J. (2010), “Fatores formadores do preço da habitação em Portugal: Uma abordagem hedónica”. Artigo apresentado no VIII Colóquio Ibérico de Estudos Rurais. Cáceres.

Zhang, X. e Jiang, Y. (2014), “An empirical study of the impact of metro station proximity on property value in the case of Nanjing, China”, *Asian Development Policy Review*, Vol. 2, N° 4, pp. 61-71.

Anexo I – Mapa da rede do Metro do Porto



## Anexo II – Taxa de ocupação das estações de Metro em 2017

Taxa de Ocupação Global (A->B + B->A)													
A	B	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Santo Ovídio	D. João II	8,8%	8,9%	9,6%	9,2%	9,4%	9,0%	8,6%	7,3%	9,0%	10,0%	9,7%	8,7%
D. João II	João de Deus	12,9%	13,1%	14,1%	13,5%	14,0%	13,5%	12,7%	10,8%	13,4%	14,7%	14,3%	12,8%
João de Deus	C.M.Gaia	20,4%	20,9%	21,8%	21,3%	22,0%	21,2%	20,3%	17,6%	21,3%	23,0%	22,2%	20,2%
C.M.Gaia	General Torres	23,6%	24,1%	25,2%	24,5%	25,4%	24,4%	23,4%	20,3%	24,6%	26,5%	25,6%	23,5%
General Torres	Jardim do Morro	26,3%	26,7%	28,4%	27,4%	28,5%	27,4%	25,8%	22,3%	27,9%	30,0%	28,4%	26,0%
Jardim do Morro	São Bento	27,5%	27,9%	29,7%	28,9%	30,1%	29,0%	27,6%	24,2%	29,5%	31,7%	29,8%	27,2%
São Bento	Allados	32,7%	33,4%	36,4%	36,1%	37,4%	36,3%	34,4%	30,7%	36,9%	39,9%	35,7%	31,9%
Allados	Trindade S	35,3%	36,7%	39,5%	39,4%	41,2%	40,0%	37,5%	33,5%	40,7%	43,5%	38,8%	35,1%
Trindade S	Faria Guimaraes	32,4%	34,6%	37,5%	33,8%	36,4%	33,7%	29,4%	23,9%	34,9%	40,5%	37,6%	30,9%
Faria Guimaraes	Marques	30,1%	32,1%	35,0%	31,4%	33,9%	31,2%	26,9%	21,7%	32,4%	37,9%	35,2%	28,7%
Marques	Combatentes	23,7%	25,5%	28,4%	25,0%	27,0%	24,5%	20,6%	16,2%	25,4%	30,9%	28,6%	22,8%
Combatentes	Salgueiros	19,9%	21,5%	24,4%	21,0%	22,9%	20,2%	16,4%	12,6%	21,2%	26,6%	24,6%	18,9%
Salgueiros	Polo Universitário	16,9%	18,3%	21,2%	18,0%	19,6%	16,9%	13,3%	9,9%	18,0%	23,2%	21,4%	15,9%
Polo Universitário	I.P.O.	13,3%	13,9%	16,2%	14,0%	15,1%	13,2%	10,4%	7,9%	13,7%	17,6%	16,3%	12,2%
I.P.O.	Hospital São João	6,6%	7,0%	7,6%	7,2%	7,7%	6,7%	5,6%	4,7%	7,0%	8,3%	7,7%	6,3%
Taxa de Ocupação Média do Sistema		18,1%	19,3%	20,5%	19,7%	20,7%	19,9%	18,9%	16,9%	20,0%	20,0%	21,3%	18,5%
Metro Ligeiro													

Taxa de Ocupação Global (A->B + B->A)													
A	B	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Nau Vitória	Nasoni	16,2%	16,9%	17,8%	17,6%	18,2%	18,2%	17,0%	14,1%	17,8%	18,9%	19,4%	18,4%
Nasoni	Contumil	18,0%	18,8%	19,8%	19,4%	20,2%	20,1%	18,6%	15,3%	19,6%	21,0%	21,6%	20,2%
Contumil	Estádio do Dragão	21,6%	26,9%	24,0%	23,3%	24,3%	24,1%	22,3%	18,4%	27,6%	25,0%	30,7%	23,9%
Estádio do Dragão	Campanhã	13,2%	15,8%	14,7%	13,9%	13,7%	13,2%	12,7%	11,4%	14,2%	13,7%	15,5%	13,6%
Campanhã	Heroísmo	16,3%	17,5%	18,1%	17,0%	17,6%	17,0%	16,6%	14,9%	16,8%	17,8%	17,7%	16,5%
Heroísmo	24 de Agosto	18,0%	19,2%	20,0%	18,7%	19,3%	18,7%	18,3%	16,2%	18,4%	19,6%	19,4%	18,0%
24 de Agosto	Bolhão	21,7%	23,1%	24,2%	22,5%	23,8%	23,1%	22,3%	19,5%	22,5%	24,2%	23,9%	21,7%
Bolhão	Trindade	26,3%	27,8%	29,1%	27,4%	28,5%	27,8%	26,9%	23,6%	26,9%	28,9%	28,7%	26,6%
Trindade	Lapa	31,5%	33,5%	34,9%	33,6%	35,0%	34,1%	32,2%	28,5%	33,4%	35,0%	35,0%	31,2%
Lapa	Carolina Michaelis	31,0%	32,8%	34,3%	33,1%	34,4%	33,6%	31,7%	28,1%	32,8%	34,3%	34,3%	30,7%
Carolina Michaelis	Casa da Música	29,1%	30,9%	32,2%	31,3%	32,5%	31,8%	30,2%	26,9%	31,1%	32,5%	32,5%	29,1%
Casa da Música	Francois	25,2%	26,9%	28,0%	27,3%	28,5%	27,8%	26,3%	23,6%	27,4%	28,5%	28,7%	25,5%
Francois	Ramalde	22,9%	24,6%	25,5%	25,1%	26,2%	25,5%	24,2%	21,9%	25,2%	26,2%	26,4%	23,5%
Ramalde	Viso	21,7%	23,4%	24,3%	24,0%	25,0%	24,4%	23,2%	21,0%	24,1%	25,0%	25,2%	22,4%
Taxa de Ocupação Média do Sistema		18,1%	19,3%	20,5%	19,7%	20,7%	19,9%	18,9%	16,9%	20,0%	20,0%	21,3%	18,5%
Metro Ligeiro													



### Anexo III – Matriz de correlações

	PV	IDADE	N_QUARTOS	AREA	GAR	TIPO	D_CBD	D_HOSP	D_ENSINO	D_PARQUE	D_SHOPPING	D_METRO	F_Bonfim	F_Campanhã	F_Ol_Douro	F_Paranhos	F_Ramalde	F_Aldoar	F_Lordelo	F_Mafamude	F_St_Marinha	F_Andorinho
PV	1	-0,02	0,54	0,74	0,23	0,28	0,16	0,15	-0,12	0,04	0,05	-0,01	-0,04	-0,05	-0,08	0,00	0,03	0,22	0,05	-0,10	-0,07	-0,06
IDADE	-0,02	1	0,24	0,16	-0,07	0,51	-0,08	0,07	-0,13	-0,07	-0,13	0,01	0,22	0,06	-0,06	-0,11	-0,05	0,02	0,03	-0,06	-0,03	-0,03
N_QUARTOS	0,54	0,24	1	0,71	0,13	0,41	0,10	0,11	-0,09	0,05	0,04	-0,04	0,01	-0,05	-0,02	-0,04	0,04	0,10	0,01	0,00	-0,08	0,01
AREA	0,74	0,16	0,71	1	0,21	0,49	0,10	0,09	-0,06	0,07	0,00	-0,07	-0,02	-0,03	-0,01	-0,05	0,01	0,07	0,02	-0,01	-0,02	0,00
GAR	0,23	-0,07	0,13	0,21	1	0,03	-0,06	-0,09	-0,01	-0,01	-0,10	-0,02	0,00	-0,02	-0,02	-0,07	-0,02	-0,03	-0,01	0,00	0,05	-0,03
TIPO	0,28	0,51	0,41	0,49	0,03	1	0,09	0,16	-0,05	0,01	0,03	-0,06	0,05	0,09	0,02	-0,01	-0,10	0,10	0,00	-0,02	-0,03	0,02
D_CBD	0,16	-0,08	0,10	0,10	-0,06	0,09	1	0,70	0,45	0,67	0,77	-0,42	-0,26	0,07	-0,04	-0,03	0,35	0,52	0,08	-0,17	-0,20	0,11
D_HOSP	0,15	0,07	0,11	0,09	-0,09	0,16	0,70	1	0,22	0,18	0,60	-0,32	0,06	0,32	0,12	-0,22	0,06	0,60	0,07	-0,11	-0,19	-0,02
D_ENSINO	-0,12	-0,13	-0,09	-0,06	-0,01	-0,05	0,45	0,22	1	0,55	0,39	-0,32	-0,17	0,07	0,11	-0,18	0,34	0,01	0,01	0,00	0,00	0,14
D_PARQUE	0,04	-0,07	0,05	0,07	-0,01	0,01	0,67	0,18	0,55	1	0,45	-0,31	-0,27	-0,09	-0,02	-0,02	0,53	0,11	-0,12	-0,14	-0,13	0,16
D_SHOPPING	0,05	-0,13	0,04	0,00	-0,10	0,03	0,77	0,60	0,39	0,45	1	-0,25	-0,20	-0,11	0,12	-0,03	0,27	0,54	-0,07	-0,08	-0,23	0,24
D_METRO	-0,01	0,01	-0,04	-0,07	-0,02	-0,06	-0,42	-0,32	-0,32	-0,31	-0,25	1	0,03	0,02	-0,13	0,23	-0,06	-0,15	-0,17	0,04	-0,16	-0,09
F_Bonfim	-0,04	0,22	0,01	-0,02	0,00	0,05	-0,26	0,06	-0,17	-0,27	-0,20	0,03	1	-0,06	-0,06	-0,15	-0,11	-0,07	-0,07	-0,10	-0,10	-0,04
F_Campanhã	-0,05	0,06	-0,05	-0,03	-0,02	0,09	0,07	0,32	0,07	-0,09	-0,11	0,02	-0,06	1	-0,05	-0,12	-0,09	-0,05	-0,06	-0,08	-0,08	-0,04
F_Ol_Douro	-0,08	-0,06	-0,02	-0,01	-0,02	0,02	-0,04	0,12	0,11	-0,02	0,12	-0,13	-0,06	-0,05	1	-0,11	-0,08	-0,05	-0,05	-0,07	-0,08	-0,03
F_Paranhos	0,00	-0,11	-0,04	-0,05	-0,07	-0,01	-0,03	-0,22	-0,18	-0,02	-0,03	0,23	-0,15	-0,12	-0,11	1	-0,21	-0,13	-0,14	-0,19	-0,20	-0,08
F_Ramalde	0,03	-0,05	0,04	0,01	-0,02	-0,10	0,35	0,06	0,34	0,53	0,27	-0,06	-0,11	-0,09	-0,08	-0,21	1	-0,10	-0,11	-0,14	-0,15	-0,06
F_Aldoar	0,22	0,02	0,10	0,07	-0,03	0,10	0,52	0,60	0,01	0,11	0,54	-0,15	-0,07	-0,05	-0,05	-0,13	-0,10	1	-0,06	-0,09	-0,09	-0,04
F_Lordelo	0,05	0,03	0,01	0,02	-0,01	0,00	0,08	0,07	0,01	-0,12	-0,07	-0,17	-0,07	-0,06	-0,05	-0,14	-0,11	-0,06	1	-0,10	-0,10	-0,04
F_Mafamude	-0,10	-0,06	0,00	-0,01	0,00	-0,02	-0,17	-0,11	0,00	-0,14	-0,08	0,04	-0,10	-0,08	-0,07	-0,19	-0,14	-0,09	-0,10	1	-0,13	-0,06
F_St_Marinha	-0,07	-0,03	-0,08	-0,02	0,05	-0,03	-0,20	-0,19	0,00	-0,13	-0,23	-0,16	-0,10	-0,08	-0,08	-0,20	-0,15	-0,09	-0,10	-0,13	1	-0,06
F_Andorinho	-0,06	-0,03	0,01	0,00	-0,03	0,02	0,11	-0,02	0,14	0,16	0,24	-0,09	-0,04	-0,04	-0,03	-0,08	-0,06	-0,04	-0,04	-0,06	-0,06	1

